Gian Carlo Cainarca, Massimo G. Colombo, Sergio Mariotti

NUOVE TECNOLOGIE ED OCCUPAZIONE

L'impatto dell'automazione flessibile sull'occupazione nell'industria. Un'indagine microeconomica

Fondazione Adriano Olivetti

Nuove tecnologie ed occupazione

L'impatto dell'automazione flessibile sull'occupazione nell'industria. Un'indagine microeconomica

Gian Carlo Cainarca, Massimo G. Colombo, Sergio Mariotti

INDICE

La ricerca è frutto del lavoro congiunto degli autori. Tuttavia, Gian Carlo Cainarca è autore dei Capitoli Terzo e Quarto, Massimo G. Colombo del Capitolo Secondo, Sergio Mariotti dei Capitoli Primo, Quarto e Quinto.

Gli autori ringraziano Livio Grillo per i suggerimenti avuti nella fase di impostazione metodologica della ricerca, e tutte le imprese che hanno collaborato all'indagine, rispondendo alle interviste telefoniche e postali. Un particolare riconoscimento alle imprese presso cui sono state svolte analisi più approfondite: Aermacchi, Astra Veicoli Industriali, Elcat, Gate, Marzoli Fratelli e C., Merloni, Olivetti, Same-Lamborghini-Hurlimann, Somet, System, Telettra, Usag Utensilerie.

INTRODUZIONE

La relazione tra progresso tecnico, occupazione e disoccupazione è di certo tra quelle insufficientemente indagate dalla teoria e dalle ricerche economiche, perlomeno rispetto all'obbiettivo rilievo che essa assume dal punto di vista della crescita economica e del benessere sociale. Vi sono pochi dubbi circa la stretta correlazione esistente tra l'attenzione dedicata al tema da economisti e studiosi e le condizioni generali dello sviluppo economico-sociale. Alla fase «eroica» del capitalismo, caratterizzata dalla pervasiva penetrazione delle innovazioni tecnologiche che hanno accompagnato la «rivoluzione industriale», ha corrisposto un notevole dibattito scientifico e di politica economica circa le conseguenze indotte dall'introduzione del macchinismo nell'attività lavorativa. Denominatore comune della «scuola classica», da Adam Smith a Ricardo, da John Stuart a Karl Marx, è stato il ruolo chiave assegnato al progresso tecnico nello sviluppo economico-sociale. In particolare, emerge come il cambiamento tecnologico agisca con modalità spesso radicali sull'evoluzione del sistema economico, modificandone incessantemente la base produttiva ed i relativi equilibri strutturali. La drammatica trasformazione tecnologica e le difficili condizioni di lavoro, particolarmente nella prima metà del Secolo XIX, sono stati il retroterra materiale di tale concezione.

Nel successivo periodo il progresso tecnico è divenuto continuo ed incrementale piuttosto che rivoluzionario ed il rapido sviluppo economico ha favorito la stabilizzazione del modello capitalistico. Questi tratti sono risultati del tutto congeniali alle assunzioni marginalistiche della «scuola neoclassica». Per essa, il meccanismo dei prezzi di mercato ed il principio della sostituzione tra capitale e lavoro operano in modo tale da eliminare nel lungo periodo qualsiasi sottoimpiego dei fattori produttivi, secondo uno schema di equilibrio economico generale che lascia spazio agli aggiustamenti chiamati in causa dal mutamento dei prezzi relativi. Come conseguenza dell'affermarsi della dottrina marginalistica, cessa virtualmente di esistere una teoria economica della relazione

tecnologia-occupazione ed essa non riapparirà che dopo la fine della Prima Guerra Mondiale, per rifiorire durante il successivo periodo di recessione economica.

Le profonde difficoltà in cui, negli anni Trenta, si dibatte l'economia — il cui ciclo «lungo» ripartirà solo dopo la Seconda Guerra Mondiale — alimentano nuovamente il dibattito sulla disoccupazione tecnologica. In questo contesto prende, tra l'altro, corpo la teoria della crescita capitalistica di Schumpeter, la quale, come noto, pone come motore centrale delle onde lunghe dello sviluppo capitalistico l'emergere di nuove grandi innovazioni tecnologiche. Secondo tale teoria, l'economia vive un ricorrente processo di squilibrio strutturale, con processi di aggiustamento di lungo periodo. In particolare, debbono essere vinte resistenze ed inerzie derivanti dal vecchio modello di sviluppo, affinché il nuovo possa emergere, diffondersi pervasivamente e garantire superiori condizioni di crescita della produttività, della produzione e dei consumi. La disoccupazione nasce da questo squilibrio strutturale ed è perciò ciclica per natura, come manifestazione puntuale del travaglio economico-sociale che le trasformazioni radicali della tecnologia impongono.

La riproposizione della centralità della relazione tecnologia-occupazione — per inciso, la visione schumpeteriana si discosta dai classici per la forte enfasi posta al ruolo autonomo del progresso tecnico nel sistema economico — diviene tuttavia lettera morta nel dopoguerra. Il ciclo capitalistico riparte e, anzi, mostra per oltre un quarto di secolo ritmi di crescita assolutamenti inediti, più che doppi rispetto al precedente ritmo secolare. La teoria economica torna agli schemi dell'equilibrio generale, all'interno dei quali la questione dell'occupazione è essenzialmente un problema di distribuzione del reddito. Gli schemi schumpeteriani mal si adattano ad interpretare la crescita lineare della produzione e del consumo di massa che caratterizzano il nuovo ciclo, la cui dinamica sembra stemperare ogni effetto squilibrante indotto dalle nuove tecnologie. Per gli economisti la tecnologia rimane così una «scatola nera» che solo gli scienziati e gli ingegneri possono utilmente aprire.

Ma, come un fenomeno carsico, il tema della disoccupazione tecnologica riappare al termine degli anni Settanta, in conseguenza di almeno due trasformazioni epocali: (a) la fine dell'«età dell'oro» del capitalismo, segnata dalle ripetute crisi energetiche e valutarie; (b) l'emergere di un nuovo radicale e pervasivo grappolo di innovazioni, frutto dell'*Information Technology*.

Accompagnano tali eventi il manifestarsi di un'alta disoccupazione e, soprattutto, un'inedita persistenza di essa, con tassi tendenzialmente crescenti in molte economie avanzate; entrambi segnali che inducono a riconoscere l'agire di fattori strutturali di lungo termine, piuttosto che di effetti congiunturali di aggiustamento del mercato del lavoro al mutamento dei prezzi relativi. Così, al disinteresse verso il binomio tecnologia-occupazione, interrotto per una breve parentesi dal dibattito maturato negli Stati Uniti nel corso degli anni Sessanta circa i possibili effetti dell'automazione, subentra una lenta, quasi imbarazzata ripresa del tema in sede accademica e di politica industriale. Il dibattito non raggiunge forse ancora le dimensioni e lo spessore fatto segnare negli anni Trenta, ma cresce la consapevolezza dell'importanza e dell'attualità della relazione tra tecnologia e occupazione, circolare ed aperta al complesso interagire delle altre principali variabili economiche. Emerge una nuova ondata di studi e ricerche empiriche sul tema. Al centro un grande interrogativo, ben sintetizzato dallo scomparso Franco Momigliano: «Alla scienza economica si chiede oggi di rispondere soprattutto alla domanda: le nuove tecnologie potranno concorrere a determinare (o ricostruire), nel lungo periodo, circoli virtuosi di crescita del prodotto, della produttività, degli investimenti, dell'occupazione analoghi a quelli verificatisi in base alle esperienze di altre grandi innovazioni epocali del passato?» (Momigliano, 1983).

Il quadro storico rapidamente abbozzato è un'utile premessa per inquadrare e qualificare le finalità della ricerca i cui risultati vengono illustrati nei prossimi capitoli. Essa vuole apportare un contributo empirico alle conoscenze sul rapporto tra tecnologia ed occupazione, con riferimento ad una radicale e pervasiva innovazione di processo: l'automazione «*computer-based*» (o

«flessibile») delle attività di progettazione e trasformazione manufatturiera. La ricerca vuole cioè indagare in merito agli effetti quantitativi e qualitativi sull'occupazione determinati o chiamati in causa dall'introduzione presso le imprese industriali di forme avanzate di automazione. La convergenza tra tecnologia meccanica ed *Information Technology* attribuisce a queste ultime prerogative di flessibilità e di integrazione sistemistica tali da distinguerle nettamente dalle innovazioni di processo associate alla tradizionale traiettoria tecnologica dell'automazione meccanica, correntemente aggettivata, per contrasto, come «rigida».

L'obbiettiva rilevanza del campo di indagine non può sfuggire. Automazione significa letteralmente assunzione da parte di macchinari e dispositivi artificiali di attributi umani, siano essi fisici o mentali, con un conseguente rapporto di sostituzione. D'altro canto, la pervasività dei processi di automazione delle attività industriali e l'innovatività della tecnologia disponibile sono tali che gli stessi mass media si sono da tempo appropriati dei temi della «fabbrica automatica» e della «robotica», per lanciare alternati messaggi di speranza tecnologica o di allarme per le conseguenze di disumanizzazione e disoccupazione che la diffusione dei nuovi sistemi porterebbe con sé.

Nonostante ciò, appaiono tutt'oggi limitati, particolarmente in Italia, gli studi e le ricerche che abbiano esplorato il tema assumendo un'ottica di analisi sufficientemente generale e non episodicamente legata a singoli casi aziendali. Manca un serio dibattito sui nodi critici che, tenuto debito conto dei caratteri intrinseci delle nuove tecnologie, condizionano la possibile evoluzione del rapporto tra automazione *computer-based* ed occupazione.

Nel tentativo di contribuire a colmare simile lacuna la ricerca ha assunto una caratterizzazione empirica e si è posta il compito di «guardare dentro» la scatola nera della tecnologia, cercando di esaminarne il contenuto e di derivarne le implicazioni economico-sociali. Ha di certo favorito questo approccio la formazione dei componenti il gruppo di ricerca, i quali,

in qualità di economisti-ingegneri, hanno cercato di coniugare la loro conoscenza della tecnologia con i concetti ed i metodi delle scienze economiche.

Mi si permetta tuttavia di sottolineare come l'enfasi posta al carattere empirico della ricerca non significhi assolutamente che essa ha seguito un approccio «empirista». Il retroterra storico-concettuale cui gli autori si sono ancorati è quello degli studi classici e della linea d'analisi strutturalista e schumpeteriana. Soprattutto, lo schema concettuale e la metodologia micro-economica adottati sono debitori verso una serie di recenti contributi dell'economia dell'innovazione, particolarmente ispirati alla teoria evolutiva di Nelson e Winter ed alle proposizioni interpretative di Freeman, Rosenberg, Dosi.

Dall'approccio assunto vengono derivati con immediatezza alcuni importanti quesiti per una ricerca che indaghi in merito al nesso tra tecnologia e occupazione.

Anzitutto, sono rintracciabili, tra i caratteri intrinseci dell'automazione flessibile, *biases* nell'uso dei fattori produttivi di tipo *labour-* e/o *capital-saving*, cioè tali da prefigurare effetti strutturali di lungo periodo, diretti ed indiretti, sul mercato del lavoro in ragione del diffondersi della tecnologia nel sistema delle imprese? Quali sono le conseguenze per l'occupazione?

In secondo luogo, sulla base delle prerogative tecniche ed economiche della nuova tecnologia, quali potranno essere il potenziale e la velocità di diffusione dei sistemi di automazione? In altri termini, quanto profonde ed ampie saranno le conseguenze dei suddetti *biases*?

In terzo luogo, in che misura le condotte strategiche, le scelte operative, le politiche industriali, i processi di apprendimento dei diversi attori del sistema economico interagiscono con i caratteri fondamentali della tecnologia nel materializzarne le traiettorie evolutive e nel trasformare la struttura economico-sociale? In altri termini, quale sarà il loro ruolo nel governare o nel condizionare le manifestazioni indotte o chiamate in causa del progresso tecnico?

Questi interrogativi sottendono la ricerca e trovano nei capitoli che seguono un primo tentativo di discussione, sulla base di una serie di evidenze empiriche, quantitative e

qualitative, raccolte attraverso un'indagine sul campo. La ricerca si avvale, inoltre, dei dati, informazioni, elaborazioni ed esperienze che costituiscono il patrimonio accumulato in questi anni dal Centro di Ricerca sull'Economia dei Processi di Automazione del MIP-Politecnico di Milano. Dal lavoro svolto scaturisce un quadro, in parte impressionistico, che, pur non essendo in grado di offrire risposte compiute e rigorosamente validate in sede teorica ed empirica, offre un primo significativo insieme di evidenze e pone le basi per una riflessione che potrà favorire successivi indirizzi di ricerca, maggiormente approfonditi e focalizzati lungo le direttrici che appaiono più promettenti.

L'articolazione del volume è la seguente. Nel Capitolo Primo si mette a fuoco una serie di ipotesi interpretative rilevanti circa le relazioni tecnologia-occupazione implicate dalla diffusione dell'automazione *computer-based* nel sistema industriale, con riguardo sia agli effetti direttamente indotti dall'adozione della nuova tecnologia, sia agli effetti indiretti, di natura «compensativa» o meno, che si attivano attraverso il complesso delle interdipendenze che innervano la moderna economia. Ciò viene fatto, a partire dalle assunzioni teoriche qui brevemente illustrate e da quanto la ricerca economica ha già prodotto al riguardo, con particolare attenzione agli effetti indotti dall'*Information Technology*. Il Capitolo Secondo delinea il modello di diffusione dell'automazione flessibile ed integrata in Italia. Vengono forniti dati e informazioni circa lo stato delle adozioni presso le imprese, la velocità di diffusione e la prevedibile evoluzione del fenomemo, con riguardo sia alla diffusione inter-impresa che intra-impresa. Il Capitolo fornisce perciò un insieme di informazioni essenziali per stimare le dimensioni complessive dell'impatto dei nuovi sistemi sull'occupazione in Italia. Il Capitolo Terzo entra propriamente nel merito degli effetti diretti sull'occupazione indotti dall'adozione di nuovi sistemi flessibili di produzione. L'attenzione è particolarmente centrata sugli effetti quantitativi, sebbene una parte del Capitolo sia dedicata anche agli aspetti qualitativi del fenomeno, in termini di *skills* e profili professionali richiesti. Il Capitolo Quarto allarga decisamente il campo d'indagine,

esplorando in termini generali le conseguenze dirette ed indirette che l'adozione dei nuovi sistemi porta con sé, con riguardo a tutti i diversi fattori della produzione. L'attenzione è altresì posta alle condotte delle imprese ed alle modalità con cui esse percepiscono e valorizzano le opportunità offerte dalle nuove tecnologie, nell'esplorare i gradi di libertà che sono ad esse disponibili. Infine, il Capitolo Quinto, riallaciandosi ai principali risultati emersi, offre alcune riflessioni conclusive.

Un'ultima notazione riguarda la delimitazione del campo d'indagine che la ricerca si è data, cioè il riferimento alla sola industria metalmeccanica, definita nella sua accezione ampia, dalla siderurgia alla meccanica tradizionale, ai mezzi di trasporto, l'informatica, l'elettrotecnica e l'elettronica. Tale comparto dell'industria manifatturiera è in realtà l'ambito largamente prevalente delle attuali e future adozioni dei nuovi sistemi di automazione. A livello mondiale, la totalità degli FMS e delle celle flessibili di produzione, salvo rare eccezioni, è installata nei settori della metalmeccanica. In Italia, le rilevazioni indicano che oltre il 90% dei robot e non meno di due terzi dei sistemi di progettazione (CAD) sono in dotazione ad imprese di questo comparto. Dunque, la delimitazione non fa perdere alla ricerca carattere di generalità ed offre, al contrario, l'opportunità di focalizzare l'attenzione su comportamenti ed effetti che, oltre ad esaurire quasi totalmente la gamma dell'esistente, consentono eventuali estrapolazioni circa potenziali future conseguenze indotte da un pervasivo trasferimento delle nuove tecnologie ad altre attività manifatturiere.

Sergio Mariotti

Capitolo primo

LE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE, L'AUTOMAZIONE E LE POSSIBILI CONSEGUENZE ECONOMICHE

1. *Introduzione*

Qualora si guardi agli effetti dell'innovazione tecnologica sull'evoluzione della società contemporanea, non v'è dubbio che, tra le nuove tecnologie, quelle dell'informazione siano di gran lunga al primo posto per portata dei fenomeni economici, occupazionali e sociali da esse determinati o chiamati in causa. Infatti, mentre significative conseguenze della diffusione delle tecnologie dell'informazione (d'ora in poi: TI) sono già ampiamente visibili, le altre innovazioni o mostrano un'impatto più circoscritto o non sono destinate ad entrare nella fase di diffusione e di applicazione generalizzata prima del Duemila.

Dall'inizio degli anni Settanta tutti i paesi industriali hanno conosciuto lo sviluppo e l'applicazione all'attività economica delle nuove TI: microelettronica, informatica, telecomunicazioni, automazione d'ufficio, industriale e dei servizi, ecc. Per contrasto le biotecnologie, nonostante il loro potenziale, non hanno ancora raggiunto il punto di poter influenzare pervasivamente l'evoluzione dell'intera industria per i decenni a noi più vicini. Tecniche non ancora competitive sul piano dei costi limitano la gamma delle applicazioni, che potrà estendersi solo grazie a nuovi *breakthroughs* e ad intensi sforzi di R&S. Ancora più lontano nel tempo sono attesi gli effetti delle tecnologie dello spazio, che per ora manifestano elevate implicazioni solo per l'industria della difesa e per l'area delle telecomunicazioni. La stessa tecnologia nucleare ha campi di applicazione limitati, costi del capitale astronomici ed un'accettazione sociale sempre minore. Infine, quanto ai materiali avanzati, che pure distanziano le ultime tecnologie citate quanto a significatività delle applicazioni industriali sinora attuate e prevedibili a medio termine, essi non hanno obiettivamente la pervasività delle TI, dalla cui diffusione peraltro dipendono in parte, in termini sia

di settori finali di sbocco, sia di sviluppo del potenziale applicativo (ad es., «customizzazione» dei materiali con tecniche *computer-aided*).

D'altro canto, se ci si limita all'ambito più circoscritto degli effetti occupazionali, emerge in modo nitido il divario che separa le TI dalle restanti tecnologie innovative. Gli esperti OECD hanno recentemente attribuito punteggio massimo al probabile impatto delle TI sull'occupazione negli anni '90, valutando parallelamente come del tutto modeste, se non irrilevanti, le conseguenze prodotte dalle altre innovazioni (Tabella 1).

Tabella 1: Classificazione delle nuove tecnologie in relazione alla loro significatività economica (a)

	Biotecnologie	Materiali avanzati	Tecnologie dello spazio	Tecnologie nucleari	Tecnologie informatiche
Gamma di nuovi prodotti e servizi	4	4	2	2	9
Miglioramenti di costo e di attributi tecnici nei processi/prodotti/servizi	3	4	2	1	9
Accettazione da parte del pubblico	5	9	6	3	9
Interesse suscitato presso l'industria	3	6	3	2	10
Settori di applicazione	4	4	2	2	10
Probabile impatto sull'occupazione negli anni Novanta	2	2	1	1	10

(a) I valori rappresentano la stima del gruppo di esperti OECD sugli aspetti sociali delle nuove tecnologie. Essi variano tra un minimo di 1 ed un massimo di 10.
Fonte: OECD (1988).

Date queste premesse, numerosi autori, di varia ispirazione, hanno posto le TI al centro di una trasformazione epocale, tale per cui un nuovo *modello tecnico-economico* starebbe rapidamente prendendo il posto di quello che ha dominato la scena sino ad ora, basato sulle industrie elettromeccanica, petrolchimica, dell'auto e dei trasporti. Concetti quali quelli di «nuovo sistema tecnologico» (Freeman et al., 1982; Freeman e Soete, 1987), «paradigma tecnico-economico» (Dosi, 1982; Perez, 1983) e «sistema socio-tecnico» (Gershuny e Miles, 1983) sono stati proposti al fine di sottolineare come le nuove tecnologie siano destinate a rivoluzionare le basi dell'attività sociale, dando vita ad inediti assetti strutturali, in un giuoco di complesse

interrelazioni con i fattori economici, sociali ed istituzionali. Come ogni cambiamento radicale della società, l'affermazione del nuovo paradigma avviene attraverso un processo che evidenzia squilibri e condizioni di *mismatching*, cioè di mancata corrispondenza tra le opportunità offerte dalla tecnologia e la capacità della società di valorizzarle, dando ad esse attuazione pratica. Si frappongono alla trasformazione inerzie e resistenze attive al cambiamento indotte dalla corrente struttura economico-sociale, da modelli mentali e culturali consolidati, da *gaps* di risorse capitali ed umane.

Non è questa la sede per l'approfondimento di un dibattito concettuale e metodologico che abbraccia il modello di sviluppo della società capitalistica e la stessa possibilità di poter fare «teoria» in proposito. Circoscrivendo la nostra attenzione agli effetti occupazionali, è tuttavia di fondamentale importanza sottolineare come tale concettualizzazione porti a stabilire una connessione significativa tra innovazione scientifica e progresso tecnico, da un lato, e disoccupazione, dall'altro lato. L'evidenza storica mostra infatti come l'affermarsi di un nuovo sistema tecnico-economico si accompagni alla distruzione di una notevole quantità di posti di lavoro, legati al precedente sistema. È stato dopo lunghi periodi di crisi economica ed occupazionale che sono emersi il sistema fondato sulla macchina a vapore, l'acciaio e le ferrovie nel corso del Secolo XIX e quello fondato sull'elettricità, l'industria elettromeccanica, la petrolchimica e l'auto cent'anni dopo (Freeman et al., 1982).

L'ipotesi di una correlazione dinamica tra tecnologie e disoccupazione va tuttavia attentamente qualificata. Da un lato, bisogna distinguere tra gli effetti di riduzione dell'occupazione dovuti all'esaurirsi delle vecchie traiettorie tecnologiche ed alla saturazione della domanda dei prodotti che ne sono stati il frutto e gli effetti che sono diretta conseguenza delle eventuali prerogative *labour-saving* dell'innovazione. In termini dinamici la distinzione è essenziale per comprendere l'impatto di lungo termine della nuova tecnologia. Dall'altro lato, esaurita la fase iniziale dominata dalla crisi del vecchio paradigma tecnico-economico, non è detto che gli effetti *labour-saving* dell'innovazione tecnologica non possano essere più che controbilanciati

da «effetti compensativi»[1] indotti dal pieno dispiegarsi del nuovo sistema e dall'instaurarsi di «circoli virtuosi» tra le opportunità di incremento della produttività e di introduzione di nuovi prodotti/servizi, gli investimenti, la produzione e la domanda aggregata del sistema economico.

È dunque con riferimento a queste problematiche che nei prossimi paragrafi discuteremo le possibili conseguenze economiche indotte dalla tecnologia, dapprima con attenzione alle TI in generale e successivamente con specifico riguardo all'*automazione flessibile* (computer-based) (d'ora in poi: AF).

2. *I caratteri economici del paradigma delle tecnologie dell'informazione*

Necessaria premessa al paragrafo è un rapido cenno ai «fatti stilizzati» del processo innovativo che sono posti a cardine della ricerca.

Anzitutto, il processo innovativo non può essere descritto come un insieme di reazioni flessibili ai cambiamenti delle condizioni di mercato, ma segue alcune *regole implicite* nei caratteri propri della tecnologia. Ogni ciclo di innovazioni deriva dall'emergere di un nuovo *paradigma tecnologico* (Dosi, 1982), il quale fissa, sulla base di assegnati presupposti «genetici», alcune regole evolutive, o imperativi tecnologici, che «guidano» le innovazioni lungo *traiettorie tecnologiche naturali* (Nelson e Winter, 1977).

L'emergere di un paradigma tecnologico è endogeno al sistema economico-sociale, in risposta a bisogni generali ed a fattori istituzionali, mentre è solo debolmente influenzato dai meccanismi di induzione dei mercati. Questi giuocano, al contrario, un ruolo di rilievo nella successiva focalizzazione delle traiettorie e nel definirsi delle specifiche soluzioni tecniche, le quali vengono «scelte» nel *range* di variabilità ammesso dai presupposti «genetici» del paradigma.

Dunque, le traiettorie tecnologiche non fissano deterministicamente la direzione ed il tasso del progresso tecnico, ma operano piuttosto come insieme di forze-guida e di vincoli che

riducono i gradi di libertà del sistema. Questi ultimi rimangono, peraltro, numerosi in quantità ed importanti per ruolo nella determinazione dei fenomeni. Essi vengono esplorati dagli agenti economici (particolarmente istituzioni ed imprese), attraverso la definizione delle loro condotte strategiche ed operative. Da questo complesso parallelogramma di forza, scaturisce, attraverso processi selettivi e cumulativi, la concreta evoluzione del sistema economico.

Una «dimensione critica» del paradigma tecnologico concerne propriamente le proporzioni d'uso dei fattori produttivi. Particolari *biases labour-* e *capital-saving* possono emergere come caratteri propri del nuovo paradigma tecnologico e determinare perciò, lungo le sue traiettorie evolutive, effetti persistenti e relativamente autonomi rispetto ai segnali di mercato. In tal caso, il processo di affermazione-diffusione della tecnologia segue sentieri parzialmente insensibili al cambiamento dei prezzi dei fattori: i coefficienti di produzione risultano così più rigidi di quanto ammesso dalla teoria economica tradizionale, a conferma dell'esistenza di polarizzazioni dinamiche nell'uso dei fattori capitale e lavoro.

Le implicazioni di quanto delineato per l'analisi del rapporto tra il nuovo paradigma delle TI e l'occupazione non possono sfuggire. Da un lato, si tratta di capire, se le traiettorie delle TI sono accompagnate da specifici *biases* nell'uso dei fattori produttivi. D'altro lato, è necessario comprendere quali siano i gradi di libertà che le imprese e le istituzioni possono esplorare e di fatto esplorano, determinando, nell'interazione con la tecnologia, le concrete manifestazioni economico-sociali del processo innovativo.

Il dibattito economico ha sinora posto molta enfasi a due aspetti determinati dalle TI: (a) la generazione di nuovi prodotti e, soprattutto, di nuovi servizi, con benefiche conseguenze sull'occupazione; (b) gli effetti risparmiatori di lavoro, sia nelle attività manifatturiere che di servizio.

Seguendo Freeman e Soete (1987), la nuova tecnologia è in grado di conservare, processare e disseminare informazione a costi minimi, favorendone la commerciabilità. Sino ad oggi i servizi sono stati un'attività economica il cui output viene

essenzialmente consumato quando è prodotto, con evidenti limitazioni sulla commerciabilità e sull'espansione dell'attività. Le TI consentono ora di separare consumo e produzione dei servizi, con conseguenze potenzialmente immense ed analoghe a quelle che ebbe la diffusione della stampa, la quale liberò l'informazione dai vincoli della riproduzione a mezzo degli amanuensi. In uno scenario «ottimistico» di rapida riduzione del *mismatching* economico-sociale indotto dal nuovo paradigma e nell'ipotesi di alti tassi di crescita della produttività nel resto dell'economia, nonché dell'attuarsi di adeguate politiche «strutturali» a favore della domanda, ne seguirebbe un aumento generalizzato dell'occupazione nei servizi, con particolare riferimento a settori *labour-intensive*, come quelli dei servizi personali, medico-sanitari, educativi, artistici, scientifici, artigianali, creativi, ecc. La prospettiva aperta dalle TI nel comparto dei servizi ai fini dell'andamento aggregato dell'occupazione esula dal campo di interesse della presente ricerca. Tuttavia deve essere enfatizzato il ruolo compensativo che essa può avere rispetto all'altro manifesto carattere della nuova tecnologia: il risparmio di lavoro.

Gli studi sugli effetti di «spiazzamento» del lavoro dovuti all'introduzione di TI in fabbrica e negli uffici hanno ormai consolidato una certa evidenza empirica[2]. Con qualche notevole eccezione[3], essi hanno generalmente rilevato gli effetti «locali» dell'introduzione di TI — a livello di processo, stabilimento, impresa, settore industriale, area territoriale —, rimandando ad un difficile bilancio, includente gli effetti compensativi indiretti, l'ultima parola sul saldo dell'occupazione. Quest'ultimo, in termini «locali», appare sistematicamente negativo. Al riguardo, deve essere ricordato come tali studi abbiano alimentato un filone «pessimistico» anche in merito alle conseguenze attese per il settore dei servizi. Autori di ispirazione marxista o «neo-marxista», quali Aglietta (1976) e Roobeek (1987a e b), sottolineano, infatti, come le TI siano destinate ad aumentare significativamente la produttività del lavoro nei servizi, attualmente assai bassa comparativamente all'industria, e ad introdurre servizi innovativi, privati e ad alta intensità capitalistica, in sostituzione di servizi collettivi ora appannaggio di enti

pubblici e dello Stato. Questa visione si contrappone al pur cauto ottimismo di Freeman e di altri autori[4], prevede un'alta disoccupazione strutturale e chiama in causa adeguate risposte di tipo istituzionale e di politica economica e sociale.

Tornando all'ambito manifatturiero, l'evidenza empirica sin qui raccolta lascia pochi dubbi circa l'operare di un *bias labour-saving* nel paradigma delle TI, sebbene non poche incertezze si addensino in merito alle dimensioni complessive del fenomeno[5]. Inoltre, il fronte relativo all'uso del fattore capitale è stato sinora colpevolmente trascurato dalla letteratura interessata alla valutazione degli effetti economico-sociali delle nuove tecnologie. Agli effetti *capital-saving* è stata posta particolare enfasi nella letteratura di strategia e gestione della produzione[6], ma esistono pochi studi empirici e poca riflessione in proposito tra gli economisti, e gli economisti del lavoro in particolare.

Un'importante eccezione è rappresentata dallo studio di Soete e Dosi (1983), relativo alle variazioni intercorse nella produttività del capitale e del lavoro nell'industria inglese durante il periodo 1948-1984. La tesi sostenuta dagli autori, sulla base delle evidenze empiriche emerse, è che le TI aumentano significativamente la produttività sia del capitale che del lavoro e sono da considerarsi *capital-saving* nel senso di Harrod[7]. Essi derivano tale tesi dall'osservazione che gli unici settori a presentare incrementi della produttività del capitale nell'arco storico considerato sono quelli dell'informatica, dell'elettronica e della strumentazione, a loro volta principali utilizzatori dei prodotti e dei processi innovativi delle TI. In particolare, viene evidenziato il ruolo avuto dalla diffusione della microelettronica, con il crescente uso di microprocessori ed altri apparati *material-saving*. Gli autori fanno leva su tale evidenza per argomentare più in generale circa i processi *capital-saving* che la diffusione pervasiva di mezzi di produzione TI-*based* potrà indurre nel medio e lungo termine nell'intera industria manifatturiera.

L'esistenza di un *bias* risparmiatore di capitale deve dunque essere oggetto di ricerca, data l'importanza delle sue implicazioni in termini di incremento della produttività globale e di

liberazione di investimenti per alimentare i circuiti virtuosi dell'economia e con essi incrementare l'occupazione. Esso deve essere qualificato alla luce dei caratteri propri della tecnologia e, ove possibile, quantificato. Inoltre, l'operare di una duplice polarizzazione sui sentieri evolutivi delle TI complica per le imprese e le istituzioni l'esplorazione dei «gradi di libertà» lasciati aperti dal paradigma e sollecita maggiore attenzione verso l'analisi delle condotte strategiche ed operative dei diversi attori. Si vengono al proposito a configurare processi peculiari di apprendimento circa le potenzialità della nuova tecnologia, che risultano condizionati dal patrimonio di «capitale conoscitivo» (tecnologico e manageriale) disponibile. A loro volta, tali processi producono effetti cumulativi, in parte irreversibili, che finiscono per segnare profondamente le forme economico-sociali in cui si materializzano le opportunità tecnologiche e, con esse, la valorizzazione delle diverse prerogative *labour-* e *capital-saving*.

3. *I caratteri economici del paradigma dell'automazione flessibile*

L'AF nasce dall'applicazione dei microprocessori e dei computer alle tecnologie di produzione e di progettazione, in una sfera estesa all'intera gamma dei processi manifatturieri discontinui. Essa trae vantaggio, da un lato, dallo sviluppo concettuale e applicativo del software informatico e, dall'altro lato, dai decisi miglioramenti verificatisi nel campo degli automatismi meccanici e delle tecnologie ausiliarie di stabilimento. Le applicazioni concernono sia le singole unità operatrici (quali le macchine utensili a CNC — controllo numerico computerizzato — ed i robot programmabili), sia i «sistemi integrati» di produzione (quali gli FMS — *flexible manufacturing systems* — e le celle flessibili), sia i sistemi di progettazione e gestione *computer-aided* (quali i CAD — *computer-aided design* —, i CAM — *computer-aided manufacturing* —, i CAD-CAM).

L'AF trasforma *radicalmente* gli elementi di progresso tecnico e scientifico sopra indicati, attraverso la loro combi-

nazione originale e facendo leva sul concetto di *integrazione di sistema*. Nella sua accezione compiuta, l'AF ha rappresentato una profonda discontinuità, rispetto al passato, nelle tecniche e nei mezzi di gestione dell'intera attività di fabbrica e dei suoi rapporti a monte con le attività direzionali dell'impresa. Essa dunque implica e trova stimolo in una nuova definizione del «modello di successo dell'impresa», i cui ingredienti sono espressione «locale» delle grandi trasformazioni favorite dal nuovo paradigma delle TI e dai mutamenti macroeconomici che l'economia mondiale ha vissuto dalla metà degli anni Settanta.

I tratti distintivi dell'AF possono essere così riassunti.

In primo luogo, essa ha posto le basi per una ricomposizione dell'antinomia tra produzione e mercato, la quale portava in passato a concepire la funzione di produzione come un sistema di vincoli alla strategia di mercato dell'impresa, cui sacrificare, in nome dell'efficienza della produzione di massa, la creatività del marketing. L'informatizzazione e l'«intelligenza gestionale» dei nuovi sistemi rendono il sistema produttivo flessibile ed adattativo, consentendo all'impresa nuovi equilibri nei *trade-offs* tra efficienza statica e dinamica, nonché l'adozione di strategie più attente alle sollecitazioni del mercato ed all'innovazione del prodotto.

In secondo luogo, guardando all'intero circuito logistico dell'impresa, il quale include i rapporti a monte ed a valle con il mercato, l'AF è in grado di abbattere o ridurre le barriere di *razionalità limitata* che il management incontra nella gestione di situazioni complesse e turbolente quali quelle derivanti all'approvvigionamento, alla produzione ed alla distribuzione dei beni da condizioni di incertezza ambientale. In particolare, l'AF opera da elemento *razionalizzatore*, che riduce l'entropia delle attività dell'impresa, cioè il disordine associato ai processi dinamici che in essa si realizzano[8]. Grazie al trattamento automatico delle informazioni, ai circuiti cibernetico-adattativi che essa introduce ed all'intelligenza del software applicativo, le conseguenze principali della «razionalizzazione» sono: il contenimento dei tempi d'ozio dei mezzi di produzione, la riduzione del *time-to-market*, la riduzione delle scorte e del *work in progress*, la possibilità di funzionamento in condizioni

non presidiate o impreviste e degradate rispetto agli standard di funzionamento. L'AF offre dunque la prospettiva di traiettorie tecnologiche persistentemente caratterizzate da guadagni di produttività dei fattori impiegati, proprio perché coinvolge l'intera sfera gestionale.

In terzo luogo, l'AF appare altamente pervasiva ed opera nel senso di un'integrazione sistemistica delle attività dell'impresa, proponendo per essa scenari evolutivi verso la fabbrica totalmente integrata ed automatizzata (CIM, *Computer Integrated Manufacturing*).

In quarto luogo, e in stretta relazione a quanto osservato, l'AF chiama spesso in causa la riprogettazione integrata del prodotto-processo e la ristrutturazione di porzioni rilevanti dell'intero assetto logistico dell'impresa adottatrice, attraverso complementari innovazioni organizzativo-manageriali.

In definitiva, l'AF risulta essere un'innovazione *radicale di sistema*, le cui potenzialità sono solo in parte incorporate negli impianti e nei mezzi tecnici in cui essa si materializza. Per una parte significativa, benefici ed effetti sono *disembodied* e vengono a dipendere da contestuali cambiamenti di tecniche gestionali (ad esempio, adozione del *just-in-time*) e, più in generale, da mutamenti nell'approccio del management al sistema produttivo, adattamenti nell'organizzazione del lavoro, ridefinizioni delle politiche di prodotto e di marketing.

L'AF richiede dunque l'acquisizione non solo di conoscenze tecniche complesse, che integrino il tradizionale orientamento alle tecnologie meccaniche con quello informatico, quanto soprattutto lo sviluppo *cumulativo* di capacità progettuali ed esperienze manageriali, al fine di un processo di reciproco adattamento tra nuova tecnologia e strategia-struttura dell'impresa. I processi di *apprendimento* giocano così un ruolo essenziale nel determinare le prestazioni dei sistemi e nel favorire successivi avanzamenti lungo «sentieri di automazione», i quali avvicinino le imprese alle frontiere tecnologiche, attraverso il raggiungimento di crescenti livelli di integrazione automatica delle attività produttive[9].

Nel quadro delineato, quali sono le possibili conseguenze sul rapporto tra tecnologia ed uso dei fattori produttivi?

L'AF è certamente risparmiatrice di lavoro. La riduzione degli addetti diretti in produzione e in progettazione, per effetto dell'automazione *computer-based* è solo in minima parte compensata dall'aumento del personale indiretto per attività di programmazione, controllo, manutenzione. Inoltre, l'adozione delle soluzioni più sofisticate consente sinergie dovute all'integrazione di più macchine operatrici in architetture di sistema e determina un calo più che proporzionale degli addetti diretti. L'unica situazione in cui l'AF può comportare stabilità dell'occupazione o, addirittura, aumento di essa, corrisponde al caso in cui essa sostituisce precedenti linee rigide automatizzate. Ma, sebbene tale processo sostitutivo sia stato spesso evocato dalla letteratura, ad enfatizzare il passaggio dalla produzione di massa alla produzione flessibile, esso appare all'atto pratico fenomeno nettamente minoritario rispetto alla pervasiva diffusione dell'automazione nel campo di lavorazioni in precedenza appannaggio di tecnologie a più basso grado di automazione, quando non tradizionali.

Tutto ciò è confermato dalle ricerche empiriche sinora condotte[10], le quali tuttavia mostrano risultati fortemente variabili in merito all'entità dello spiazzamento di manodopera[11]. Tale variabilità cresce inoltre quando si valutano gli effetti connessi all'adozione dei sistemi più complessi ed integrati. Alla luce di quanto sinora osservato, il fenomeno non appare sorprendente. Numerosi fattori originano la variabilità osservata: la varietà intrinseca dei sistemi di AF introdotti presso imprese nei diversi settori industriali, l'inclusione o meno nelle valutazioni dell'occupazione indiretta, il riferimento esclusivo agli effetti *embodied* o l'estensione a considerare gli effetti *disembodied*, dovuti a razionalizzazioni del prodotto-processo ed a procedure gestionali innovative, i cui effetti risultano talvolta inscindibili da quelli imputabili alla tecnologia in senso stretto.

L'AF comporta un mutamento nei profili professionali. Nel quadro di una generale evoluzione in senso «informatico» del bagaglio culturale che accomuna gli occupati dell'industria alla restante parte della società, la diffusione delle tecnologie *computer based* sta trasformando le caratteristiche dell'attività

svolta dalla forza lavoro ad ogni livello. La manualità richiesta a disegnatori e progettisti così come ad operai addetti alla conduzione delle macchine operatrici, viene progressivamente sostituita dalla capacità di concettualizzare prodotti e processi produttivi, nonché di «programmare» l'intelligenza informatica dei nuovi mezzi di produzione. Tuttavia, l'interpretazione delle conseguenze di tale processo divide gli studiosi in due schieramenti opposti. Per gli «ottimisti», l'evoluzione degli *skills* indotta dall'AF comporta a livello professionale una crescita generalizzata della forza lavoro, cui quindi si accompagna un miglioramento della qualità della vita lavorativa; mentre per i «pessimisti» le nuove competenze richieste accentuano la separazione fra i pochi che realmente programmano l'AF e coloro che a quest'ultima restano asserviti, inducendo preoccupanti polarizzazioni nel mercato del lavoro.

Di notevole interesse sono, inoltre, le considerazioni in merito all'ipotesi avanzata da Soete-Dosi circa gli effetti *capital-saving* dell'introduzione delle tecnologie «intelligenti» dell'informazione nella produzione manifatturiera. Nel caso dell'AF, piuttosto che a fattori *material-saving* connessi alla realizzazione dei mezzi di produzione, l'analisi deve fare riferimento al citato ruolo di *razionalizzatore* del modo di produzione. Da un lato, pur scontando gli incrementi di produttività, qualora si pensi al forte incremento degli immobilizzi non solo in hardware, ma anche in software che l'AF comporta sia rispetto a soluzioni non automatizzate che a forme di automazione rigida, é senz'altro ipotizzabile un aumento del capitale fisso impiegato per unità di prodotto. Dall'altro lato, appaiono evidenti le grandi opportunità offerte dall'AF e dalle correlate innovazioni *disembodied* in termini di risparmio di *capitale circolante*, grazie all'azione di riduttore entropico su cui ci si è soffermati. Si apre dunque una fertile linea di analisi ai fini di tracciare un bilancio finale circa i mutamenti indotti dall'AF nell'uso del fattore capitale.

Infine, non devono essere trascurati i possibili effetti *demand inducing* della nuova tecnologia. La sua applicazione consente più rapidi e meno costosi cambiamenti nella progettazione dei prodotti, innalza la loro qualità ed aumenta la possibilità di

differenziare l'output della produzione. In assoluto ciò apre la possibilità di catturare e generare una nuova domanda, elastica al reddito, con una minore enfasi sulla competitività di prezzo e maggiore attenzione ai processi di personalizzazione del prodotto.

4. *Una viabile linea di analisi*

Tutte le ricerche che affrontano la relazione tra tecnologia e occupazione mettono in luce grandi difficoltà nel passaggio dalla fase di concettualizzazione a quella operativa di messa a punto degli schemi di analisi e, successivamente, a quella di rilevazione ed elaborazione dei dati.

L'analisi *macroeconomica* è l'indispensabile strumento per una valutazione integrata degli effetti diretti indotti dall'introduzione e diffusione delle innovazioni tecnologiche e dell'insieme degli effetti compensativi che si generano nel sistema economico, come previsto in sede teorica. Tuttavia, anche nelle migliori linee di analisi — e tra queste è d'obbligo riferirsi all'impegnativo studio di Leontief e Duchin (1986) sulla base delle tecniche input-output — la modellizzazione delle leggi di comportamento del sistema economico sconta una serie di assunzioni «eroiche» e semplificatrici circa la natura e lo spazio d'azione degli effetti compensativi ed appare lontana dal rendere adeguatamente conto della complessità delle interdipendenze dinamiche e settoriali che si stabiliscono nell'economia reale. Inoltre, le stesse metodologie di calcolo dei «parametri» del modello macroeconomico incontrano spesso il limite di una scarsa disponibilità di informazioni e dati sui fenomeni di base analizzati, costringendo a fondare elaborazioni e, come nel caso della ricerca guidata da Leontief, previsioni a lungo termine circa fenomeni occupazionali aggregati, su stime alquanto «rozze», derivate da un'evidenza empirica limitata[12].

La convinzione degli autori è dunque che, ferma restando la necessità di misurarsi con l'analisi di *macrolivello*, si rendano oggi soprattutto necessari sia l'approfondimento dei modelli

interpretativi di *microlivello* in merito ai caratteri paradigmatici delle nuove tecnologie ed ai loro effetti occupazionali, sia verifiche più robuste delle ipotesi microeconomiche elaborate, al fine di offrire un valido riferimento alla modellizzazione *macro*.

Le analisi di *microlivello* sinora condotte presentano, sul piano sia della metodologia che dei risultati, un diverso grado di consolidamento. La parte più consolidata concerne lo studio degli effetti di spiazzamento della manodopera dovuti all'introduzione di AF. Le ricerche hanno indagato gli effetti *embodied* della tecnologia (con riferimento a robot, macchine a CNC, FMS e celle flessibili) e, principalmente, le conseguenze misurate a livello della manodopera diretta in produzione. Tuttavia, questi studi, relativamente omogenei per oggetto d'analisi, presentano, come già detto, un ampio ventaglio di risultati. Quando si guardi a questo importante livello di analisi, due sembrano essere le linee di azione per migliorare l'affidabilità e la convergenza dei risultati: (a) il calcolo dei coefficienti di spiazzamento della manodopera con riferimento a campioni di imprese e sistemi tecnologici adeguatamente numerosi e rappresentativi della varietà intrinseca al fenomeno studiato, (b) la predisposizione di indagini di ampio respiro sul livello e sulla dinamica della diffusione delle nuove tecnologie nell'intero sistema industriale, al fine di consentire valutazioni degli effetti di spiazzamento dell'occupazione a livello aggregato, sulla base di procedure di estrapolazione significative in senso statistico.

Sempre nel merito degli effetti *labour saving*, appaiono meno consolidati gli studi inerenti sia l'occupazione indiretta che gli effetti *disembodied* correlati all'introduzione di AF. Ancor meno indagate sono le implicazioni *capital saving* e le possibilità *demand inducing* indotte dalla nuova tecnologia. Rimane questo un vasto campo di analisi, oggi approcciabile prevalentemente con indagini di natura qualitativa, alle quali compete il compito dell'identificazione e qualificazione dei fenomeni più significativi. In altri termini, ci si attende, una più ampia riflessione sui

biases implicati dall'affermarsi dell'AF ed una loro focalizzazione sia concettuale che operativa, al fine di alimentare successive ricerche volte alla «misurazione» degli effetti.

Infine, i caratteri propri del processo di diffusione dell'AF influenzano significativamente le procedure di analisi ed i risultati. Da un lato, l'incipienza della tecnologia ha spesso costretto a studiare l'emissione di «segnali deboli», confusi nel «rumore» provocato dai numerosi fattori economico-sociali che sempre intervengono ad influenzare i fenomeni occupazionali. Dall'altro lato, come già sottolineato, si è in presenza di importanti fenomeni di apprendimento da parte delle imprese che adottano la nuova tecnologia, i quali imprimono anche alla relazione tecnologia-occupazione una dinamica evolutiva a priori di non facile identificazione. L'esplorazione dei gradi di libertà concessa alle imprese-istituzioni non si è ancora consolidato in precise regole di comportamento e scelte strategiche univoche. Tutto ciò alimenta incertezze e difficoltà di analisi, suggerendo l'adozione di approcci improntati ad evitare forme di «determinismo» tecnologico, quanto mai inopportune, soprattutto nell'attuale fase ancora *fluida* delle traiettorie tecnologiche dell'AF.

Di questo stato dell'arte si è tenuto conto nel cercare di definire una viabile linea d'indagine da seguire nella presente ricerca. Si è perciò cercato di combinare metodologie di analisi «estensive» ed «intensive», attraverso rilevazioni quantitative di larga scala e studi di caso approfonditi.

Appartiene alla categoria delle analisi estensive, lo studio degli effetti diretti *labour saving* indotti dall'adozione di AF in produzione nell'industria metalmeccanica italiana. Esso fa leva su: (a) l'analisi dei livelli e della dinamica di diffusione dei sistemi di AF, come risulta dalle ricerche condotte dagli autori nell'ambito del Centro di Ricerca sull'Economia dei Processi di Automazione del MIP-Politecnico di Milano e (b) l'indagine diretta volta al fine di rilevare i coefficienti di spiazzamento occupazionale dei diversi sistemi automatici di produzione, estesa ad un campione sufficientemente rappresentativo di imprese adottatrici. Ne scaturisce una serie di stime aggregate sull'effetto dell'AF sui livelli occupazionali nell'industria ita-

liana, la quale può essere utilmente assunta come riferimento per talune riflessioni sulle conseguenze economiche di più lungo termine del nuovo paradigma tecnologico.

Appartengono alla categoria intensiva, le analisi condotte in merito all'insieme degli effetti implicati dall'AF, anche in rapporto alle scelte strategiche ed operative messe in atto dalle imprese, includendo in esso gli aspetti *capital saving* e di possibile induzione di una nuova domanda. La filosofia d'approccio a queste tematiche è già stata sufficientemente illustrata. Sul piano delle metodologie concrete, la ricerca si è avvalsa di due strumenti: (a) la ricognizione e la riflessione in merito ai risultati conseguiti da alcune ricerche sulle implicazioni gestionali e strategiche dell'AF e sugli obiettivi e sugli effetti economici attesi dalle imprese in relazione all'adozione dei nuovi sistemi, (b) l'esame di alcuni significativi casi aziendali.

Dalla combinazione di queste linee di analisi, è scaturito un approccio di ricerca che, sebbene sconti un certo eclettismo, sembra in grado di corrispondere alle esigenze microanalitiche sopra evidenziate, offrendo sia alcune prime risposte conoscitive, sia stimoli e suggerimento per successivi studi. Una conseguenza è il carattere da *laboratory paper* che assume il presente rapporto. Come verrà enfatizzato nel Capitolo conclusivo, le valutazioni analitico-quantitative proposte, piuttosto che offrire quadri conclusivi su un fenomeno in rapida evoluzione, hanno il compito di suscitare riflessioni sui potenziali scenari alternativi che restano aperti, soprattutto in funzione degli orientamenti che le imprese e la società nel suo complesso sapranno assumere di fronte alle opportunità del nuovo paradigma tecnico-economico.

Note

[1] Il termine «effetto compensativo» evoca la nota teoria della *compensazione*, secondo cui una serie di meccanismi di mercato garantiscono la temporaneità della disoccupazione tecnologica ed il sicuro riassorbimento della manodopera momentaneamente espulsa dal processo produttivo. Nata in epoca classica, ed allora sottoposta a dura critica particolarmente per opera di K. Marx, la teoria fiorisce con la dottrina neoclassica. La compensazione avverrebbe principalmente via: (a)

la produzione delle macchine, (b) la diminuzione dei prezzi, (c) il reinvestimento dei profitti, (d) la diminuzione dei salari. Per un'analisi critica della teoria della compensazione si veda il recente saggio di Vivarelli (1988). In questa sede, l'uso del termine «compensazione» non sottointende alcuna certezza da parte degli autori circa l'efficacia dei suddetti meccanismi.

[2] Si veda, al proposito, la rassegna di Kaplinsky (1987).

[3] Si citano, in particolare, le ricerche condotte da Leontief e Duchin (1984) e da Withley e Wilson (1982). In entrambi i casi, viene sviluppato un modello macro-economico nazionale, del tipo input-output, rispettivamente per gli Stati Uniti e per l'Inghilterra, con l'obiettivo di formulare una previsione di lungo termine sulle conseguenze indotte dalla diffusione dell'innovazione tecnologica che tenga conto dell'insieme degli effetti diretti ed indiretti.

[4] Tra i quali possiamo annoverare Sylos Labini (1989). Si veda anche l'opera curata da Tamburini (1986).

[5] A conferma della contradditorietà degli studi condotti in questo campo si citano alcuni esempi. In Onu (1986) vengono riportate le valutazioni di due ricerche condotte in Germania e pubblicate a breve distanza di tempo, secondo cui i lavoratori espulsi entro il 1990 dall'industria manifatturiera in seguito all'automazione sarebbero 7.500 in un caso e oltre 250.000 nell'altro. Analogamente, l'impatto della tecnologia *computer-based* sull'occupazione negli Stati Uniti è valutato da Ayres e Miller (1983) corrispondente ad un'espulsione di 4 milioni di lavoratori entro il 2005, mentre Hunt e Hunt (1983) stimano uno spiazzamento di sole 134.000 unità entro il 1990.

[6] Si vedano, ad esempio, Skinner (1985), Suresh e Meredith (1985), Turco e Bartezzaghi (1989).

[7] Si ricorda che nella letteratura economica esistono diverse definizioni di progresso tecnico neutrale, *labour-* e *capital-saving*. Harrod definisce il progresso tecnico neutrale se lascia inalterato il rapporto $v = K/Y$ tra il capitale ed il prodotto, *capital-saving* se v decresce, *labour-saving* se v cresce. Tale definizione differisce da quella altrettanto nota di Hicks.

[8] Per un'approfondimento del ruolo dell'Af come riduttore dell'entropia associata ai processi produttivi si veda Colombo e Mariotti (1985).

[9] In merito al ruolo dei processi di apprendimento nella diffusione-evoluzione dell'Af si rinvia a Cainarca et al. (1987, 1989a e 1989b).

[10] Si rinvia nuovamente alla rassegna di Kaplinsky (1987).

[11] Si veda quanto citato alla nota 5.

[12] Per un'analisi critica dell'approccio metodologico e delle assunzioni alla base del lavoro di Leontief e Duchin si vedano Freeman e Soete (1985) e Kaplinsky (1987).

Capitolo Secondo

LA DIFFUSIONE DELLE TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE FLESSIBILE NELL'INDUSTRIA ITALIANA

1. *Introduzione*

Il presente Capitolo è dedicato all'analisi del modello di diffusione delle apparecchiature e sistemi di AF. Più specificatamente, obiettivo del Capitolo è di ricostruire il quadro della diffusione, inter-impresa, intra-impresa e globale, dell'AF all'interno dell'industria metalmeccanica italiana. Esso costituisce, infatti, una premessa logica indispensabile e, operativamente, il punto di partenza per la valutazione dell'impatto occupazionale dell'AF, tema al quale sarà dedicato il successivo Capitolo.

Il Capitolo è organizzato nel modo seguente. Nel paragrafo 2 vengono discusse le proprietà economiche delle nuove tecnologie di AF che è lecito ritenere ne influenzino la diffusione, e, dopo una sintetica descrizione delle principali barriere all'adozione, vengono esaminate, da un punto di vista concettuale, le caratteristiche strutturali del processo diffusivo. Il paragrafo 3 contiene una descrizione dettagliata e sistematica delle tipologie tecnologiche su cui l'analisi si è concentrata. Nel paragrafo 4 viene invece presentata l'evidenza empirica relativa al processo di diffusione, inter-impresa, intra-impresa e globale, della tecnologia nell'industria metalmeccanica italiana; particolare attenzione viene dedicata, da un lato ai differenziali nel tasso e direzione del processo diffusivo fra le diverse innovazioni originatesi dal paradigma dell'AF, dall'altro all'esistenza di polarizzazioni strutturali, relative alle dimensioni delle imprese ed ai settori di attività. Un tentativo di comparazione internazionale dei livelli e della dinamica della diffusione, nel paragrafo 5, conclude il Capitolo.

2. *Il modello di diffusione dell'automazione flessibile*

La natura della tecnologia

Con il termine «automazione flessibile» (AF) si fa in questa sede riferimento ad un «grappolo» di innovazioni di processo,

originatesi dallo stesso paradigma tecnologico (nel senso a tale termine attribuito da Dosi, 1982) ed accomunate dalla proprietà di permettere la realizzazione per via automatica di una predefinita varietà di prodotti. Tale definizione abbraccia un insieme ampio di innovazioni, caratterizzate in parte da relazioni di competizione, nella misura in cui esse offrono soluzioni tecnologiche diverse, per efficienza e costi, a simili problemi economici, ed in parte da relazioni di complementarità, per gli effetti sinergici che il loro contemporaneo utilizzo può originare.

Nonostante la diversità delle varie configurazioni tecnologiche, ed i gradi di libertà che ancora ne caratterizzano lo sviluppo evoluzionistico, è possibile identificare alcune proprietà che le accomunano, ed il cui impatto sul modello di diffusione è senza dubbio rilevante.

Fra queste, spicca innanzitutto l'elevata *pervasività funzionale* e settoriale. Il campo di applicabilità dell'AF coincide infatti, almeno potenzialmente, con l'intero spettro dei processi industriali discontinui e con tutte le fasi della trasformazione industriale, dalla progettazione, all'ingegnerizzazione, alla lavorazione, al montaggio, sino al *packaging* ed alla logistica.

A livello di impresa, la pervasività si nutre delle complementarità fra applicazioni relative a diverse sfere di attività, ed in particolare alla progettazione/ingegnerizzazione ed alla lavorazione/montaggio, e si giova soprattutto del carattere *aperto* e *modulare* delle apparecchiature di AF. Tali proprietà permettono infatti di modificare, con rapidità e costi contenuti, la configurazione strutturale delle soluzioni installate, attraverso l'aggiunta e/o la sostituzione di vari componenti e sotto-sistemi, conferendo loro capacità metamorfiche di riaggiustamento in funzione delle crescenti opportunità offerte dallo sviluppo tecnologico e delle variabili esigenze del mercato.

Va peraltro rilevato come l'effettivo grado di modularità sia intimamente legato al livello di diffusione di *standard industriali* relativi alle architetture hardware, al software ed ai protocolli di comunicazione. In questo ambito, una netta distinzione separa le apparecchiature di progettazione/ingegnerizzazione da quelle concernenti le altre sfere di attività. Mentre le prime

hanno usufruito, in buona sostanza, del rapido cammino in questo settore delle tecnologie dell'informazione, che ha ben presto portato all'affermazione di standard universalmente accettati, per le seconde il discorso è ben diverso. Infatti, nelle sfere della produzione e della logistica prevalgono a tutt'oggi condizioni di elevata incertezza sugli standard, determinate dall'assenza presso l'offerta di un chiaro *leader*, capace di imporre al mercato standard proprietari, dalle carenze e inefficienze di accordi multilaterali fra i principali produttori e dall'esperienza ancora limitata degli utilizzatori.

In secondo luogo, le diverse innovazioni generate dal paradigma dell'AF descrivono un *continuum* di soluzioni, sino alla frontiera tecnologica rappresentata dal CIM. Alcune soluzioni, come i *machining center* ed i robot, configurandosi come macchine *stand alone*, per quanto complesse, incorporano solo in parte gli elementi distintivi del paradigma dell'AF (si veda il successivo paragrafo 3). Ma anche prescindendo da esse e concentrandosi sui sistemi integrati, numerose sono le *forme intermedie*, che, in cambio di minori prestazioni rispetto alle soluzioni più avanzate, in termini di flessibilità e di capacità di operare in condizioni degradate, comportano costi di investimento più contenuti e richiedono un *know-how* meno sofisticato per la loro implementazione ed efficiente utilizzo.

Un terzo aspetto di grande rilievo che ci preme sottolineare in questa sede riguarda il carattere di *innovazione di sistema* dell'AF. Infatti, il potenziale innovativo dell'AF è solo in parte incorporato nell'hardware e software di cui le apparecchiature si compongono. L'elevata profittabilità degli investimenti in AF può essere garantita solo dalla contestuale adozione di innovazioni significative nella sfera delle strutture organizzative e delle procedure gestionali.

Relativamente a quest'ultimo aspetto, numerosi autori hanno sottolineato come, benché non vadano trascurati i vantaggi dell'AF dal lato dei costi, è dal lato dei ricavi che essa ha le maggiori implicazioni[1]. Essa permette infatti l'adozione di strategie di mercato basate su fattori di competizione non di prezzo — la qualità, la differenziazione del prodotto, il *time to market* —, in precedenza inibite da forme tradizionali di

automazione, le quali innovano profondamente le relazioni dell'impresa con la propria clientela, effettiva e potenziale. Tuttavia, per cogliere tali benefici, è richiesta all'impresa adottatrice una profonda opera di riprogettazione e ristrutturazione di prodotti, processi e di porzioni rilevanti dell'assetto logistico.

Premessa indispensabile per il successo dell'adozione di AF, soprattutto nelle forme più avanzate, è pertanto, oltre all'accesso a *know-how* tecnico specialistico nell'area delle tecnologie dell'informazione a complemento di più tradizionali competenze di carattere meccanico, la disponibilità di risorse adeguate da investire nello sviluppo cumulativo di capacità progettuali e manageriali tali da garantire, attraverso un rapido percorrimento delle curve di apprendimento, il mutuo adattamento tra tecnologia e configurazione di strategia-struttura dell'impresa adottatrice.

Le barriere all'adozione e le caratteristiche strutturali del modello di diffusione dell'automazione flessibile

In relazione alle proprietà della tecnologia richiamate nel paragrafo precedente, le principali barriere all'adozione di AF possono essere sinteticamente descritte nel modo seguente[2]:

a) barriere derivanti dall'elevata scala di produzione congiunta necessaria per saturare la capacità produttiva delle apparecchiature di AF, soprattutto nelle forme più avanzate;

b) barriere connesse agli effetti sinergici permessi dall'adozione di apparecchiature di AF relative a sfere di attività diverse;

c) barriere di natura finanziaria; esse fanno riferimento sia ai costi di investimento per l'hardware e software, sia alle spese per la formazione delle risorse umane indispensabili per garantire il successo dell'adozione[3];

d) barriere connesse agli elevati *sunk costs* generati dalla precoce obsolescenza di macchinari, *skills* e procedure organizzative precedentemente in essere e scarsamente compatibili con le

nuove tecnologie di AF[4]. Va inoltre osservato come la difficile affermazione, perlomeno per le apparecchiature di produzione, di standard industriali universalmente accettati implichi un elevato rischio di futuri *sunk costs*, per il pericolo di investire in soluzioni tecnologiche basate su standard perdenti;

e) barriere informative e conoscitive, derivanti dal carattere cumulativo ed appropriabile del know-how necessario per l'efficiente implementazione delle apparecchiature di AF;

f) barriere connesse alle innovazioni organizzativo-manageriali necessarie per garantire il successo dell'adozione.

Le barriere all'adozione sopra descritte caratterizzano in misura assai diversa le varie tipologie di soluzioni tecnologiche originatesi dal paradigma dell'AF, con riferimento sia alla loro altezza complessiva, e quindi alla velocità del processo di diffusione, sia all'impatto differenziale di ciascuna di esse.

In termini generali, è possibile affermare che per le apparecchiature di progettazione le barriere all'adozione sono assai meno consistenti che per le apparecchiature relative alle altre sfere di attività, e dunque ben più rapido è il processo di diffusione.

In primo luogo, in tale sfera il processo di standardizzazione delle architetture hardware e del software è stato assai veloce. Tali soluzioni hanno inoltre beneficiato della drastica tendenza al ribasso dei costi tipica delle apparecchiature informatiche[5]. Di conseguenza, l'impatto delle barriere di natura finanziaria ed il rischio di *sunk costs* che deriverebbero dalla scelta di uno standard perdente si sono di molto ridotti. Inoltre, l'ampiezza dell'offerta di servizi di supporto — di consulenza nella scelta ed implementazione delle apparecchiature, di personalizzazione del software, di formazione del personale, ecc. — da parte, oltre che delle grandi imprese del settore informatico, di un numero considerevole ed in rapida crescita di *system houses* indipendenti, ha limitato l'estensione delle carenze informative e conoscitive, ed alleviato, in parte, le difficoltà di natura organizzativo-manageriale.

Un secondo aspetto di cui va tenuto conto nell'analizzare il modello di diffusione dell'AF è che, nonostante la pervasività

della tecnologia, permangono peculiarità settoriali inalienabili che determinano ampi differenziali cross-settoriali nei potenziali diffusivi — e, di conseguenza, anche nei tassi di adozione — e, al limite, inibiscono la diffusione di alcune apparecchiature in specifici settori. Esse fanno riferimento sia a tipicità tecnologiche della produzione[6], sia al diverso posizionamento dei settori nella filiera verticale[7], sia a caratteristiche strutturali delle imprese in essi presenti[8].

Un ultimo aspetto che ci preme sottolineare in questa sede concerne l'altezza differenziale delle barriere all'adozione in funzione della *dimensione aziendale*. Infatti, le barriere all'adozione sopra richiamate si oppongono alla diffusione dell'AF soprattutto presso le *piccole e medie imprese*. I pionieri dell'adozione ed i rapidi imitatori saranno dunque *grandi imprese* operanti in settori *scale-intensive* oligopolistici ed altamente internazionalizzati, quali gli autoveicoli, l'aerospazio e l'elettronica.

Rispetto ad unità di dimensioni minori, tali imprese godono infatti di considerevoli vantaggi relativi al costo del capitale, ad un più immediato accesso a canali informativi efficienti, alla disponibilità di *know-how* e competenze proprietarie e di adeguate risorse finanziarie, organizzative e manageriali da investire in processi di apprendimento. Inoltre, le imprese di grande dimensione risultano favorite, in generale, nell'implementare strategie di mercato che, grazie all'ampiezza della gamma di prodotti ed alla rapidità dei tassi innovativi, permettono di raggiungere una scala di produzione congiunta tale da garantire una stabile saturazione della capacità produttiva delle soluzioni di AF, anche per le configurazioni più avanzate. Esse incontrano poi minori difficoltà nel far fronte alle incertezze tecnologiche e di mercato che, con particolare riferimento alla sfera produttiva, prevalgono anche nell'attuale fase di decollo del processo diffusivo. Da un lato, la *ricerca localizzata* che caratterizza il comportamento dei potenziali adottatori (si veda Cainarca et al., 1989a) è altamente sensibile al precedente accumulo di capitale conoscitivo e ad una cultura di impresa orientata all'innovazione dei processi produttivi. Se ne deriva anche, per le imprese minori, un più deciso

orientamento verso le *forme intermedie* di AF, caratterizzate da una computerizzazione meno spinta delle funzioni di monitoraggio e controllo. Dall'altro, a causa dei persistenti squilibri di mercato e del difficile incontro fra domanda ed offerta, la capacità delle grandi unità di internalizzare la progettazione e lo sviluppo dei sistemi di AF, anche nelle forme più avanzate, si rivela un importante fattore di successo. Infine, non va trascurato che la domanda di flessibilità proviene essenzialmente da grandi imprese attive in mercati di massa, in difficoltà nel far fronte con sistemi tecno-organizzativi tradizionali a condizioni di domanda turbolente (Colombo e Mariotti, 1985). Al contrario, il contributo dell'AF al «modello di successo» dell'impresa minore, inerentemente flessibile grazie, essenzialmente, a fattori di natura organizzativa e non tecnologica, appare, al più, non determinante.

A conclusione di queste note, va peraltro rilevato come l'elevata scala di produzione congiunta necessaria per saturare le apparecchiature di AF, soprattutto nella sfera della produzione e per le forme più avanzate, implichi per gli adottatori di minori dimensioni, *ceteris paribus*, livelli di diffusione *intra-impresa* più elevati. Tale osservazione riveste notevole importanza, alla luce degli obiettivi della presente ricerca, se si considera che il livello di diffusione *globale* della tecnologia, il quale ne determina, in ultima analisi, l'estensione dell'impatto occupazionale, dipende tanto dal numero di adottatori (diffusione inter-impresa), quanto dal grado di utilizzo della tecnologia (diffusione intra-impresa) da parte di ciascuno di essi.

3. *Le tipologie tecnologiche analizzate*

Il presente paragrafo si pone l'obiettivo di delineare la gamma di forme di AF considerate nella ricerca, e di descrivere i criteri a cui la loro scelta si è ispirata. Tale scelta è infatti resa a priori non univoca dalla varietà delle traiettorie tecnologiche dipanatesi dal paradigma dell'AF, e dall'amplissimo ventaglio di specifiche configurazioni tecnologiche in cui queste si sono poi materializzate, soprattutto nella sfera della produzione, tanto da

rendere le nuove forme di AF un'alternativa sia al *job shop*, incentrato sul ricorso a macchine operatrici *stand alone*, sia a produzioni per grandi lotti caratterizzate dalla «meccanizzazione» di lavorazioni rigidamente integrate in «linea».

I criteri a cui gli autori si sono ispirati rispecchiano una duplice necessità.

Da un lato, si è inteso evitare un'eccessiva frammentazione tipologica, riconducendo le singole operazioni per le quali le macchine ed i sistemi di AF sono predisposti — quali la tornitura, la fresatura, la lavorazione per deformazione, ecc. — a categorie più aggregate (la lavorazione, il montaggio, la saldatura, la manipolazione, la verniciatura); esse sono state inoltre accomunate in funzione della sfera di attività, produttiva, progettuale o di interfaccia produzione/progettazione[9], cui esse fanno riferimento.

Dall'altro, elementi distintivi caratterizzanti delle diverse soluzioni tecnologiche sono stati identificati nella *complessità sistemistica* delle varie configurazioni e nel loro grado di *intelligenza*, intesa quest'ultima come capacità della macchina-/sistema di svolgere in modo automatico attività di controllo e di incorporare *skills* gestionali[10].

La tassonomia adottata consente in tal modo di porre in evidenza, a fianco dei sistemi più avanzati, anche le forme intermedie di AF, nonché quelle soluzioni che, pur configurandosi in termini strettamente tecnici come macchine *stand alone*, incorporano almeno una parte degli elementi distintivi del paradigma dell'AF.

In termini puntuali, le tecnologie di AF prese in considerazione fra quelle impiegate in produzione sono state:

- *machining center* a CNC (*controllo numerico computerizzato*); essi incorporano sia il fattore «flessibilità» del paradigma dell'AF, sia i primi elementi di integrazione di fasi diverse della sfera produttiva, nella misura in cui operazioni diverse possono essere eseguite sulla stessa apparecchiatura;
- *robot*; analogamente ai *machining center* essi incorporano il fattore «flessibilità» del paradigma dell'AF. Inoltre, si qualificano, in numerose applicazioni (specificamente, la manipolazione), come elemento di integrazione di fasi produttive

diverse;
- *sistemi flessibili di lavorazione*: sono definiti come sistemi composti da almeno due macchine operatrici, interconnesse da mezzi automatici di movimentazione, con la presenza, in varie forme, di apparecchiature a controllo numerico.

In ragione della qualità del coordinamento tra le diverse apparecchiature e dell'intelligenza gestionale incorporata, si distingue fra:

i. *sistemi flessibili a* CN: nel sistema è presente almeno una macchina a controllo numerico, ma non esiste coordinamento informatico fra le diverse apparecchiature; nel caso siano presenti microprocessori e microcalcolatori, questi presiedono esclusivamente al funzionamento della singola macchina a bordo della quale risiedono. L'intelligenza del sistema è limitata e la sua riconfigurazione richiede un intervento sulla componente hardware. Questa categoria costituisce il corpo centrale delle forme intermedie di AF;

ii. *sistemi flessibili a* CND: sono caratterizzati da un'architettura gerarchica di calcolatori; in altri termini, è presente un calcolatore di sistema che coordina l'attività di più macchine a CN o di PLC. La riconfigurazione delle attività del sistema avviene via software.

Per quanto concerne la sfera progettuale[11], le soluzioni tecnologiche prese in considerazione sono:
- CAM: apparecchiature *computer aided* finalizzate alla generazione di *part programs* utilizzati dalle macchine a CN e, eventualmente, allo svolgimento di funzioni gestionali più complesse nell'ambito delle attività di trasformazione produttiva;
- CAD: al più basso livello tali apparecchiature computer aided svolgono la funzione di «tecnigrafo elettronico»; più in generale, le loro funzioni concernono la progettazione in senso proprio;
- CAD/CAM: apparecchiature *computer aided* che consentono lo svolgimento integrato, a partire da un unico *database*, delle funzioni separatamente svolte da CAM e CAD, come sopra definite.

4. *La diffusione dell'automazione flessibile nell'industria metalmeccanica italiana*

Premessa

Il presente paragrafo è dedicato all'analisi del livello di diffusione attualmente raggiunto dalle apparecchiature e sistemi di AF, relativi alle sfere della produzione e della progettazione, all'interno dell'industria metalmeccanica italiana, e della velocità del processo diffusivo. In particolare, dopo aver affrontato il tema della diffusione *inter-impresa*, il paragrafo viene dedicato all'esame della diffusione *intra-impresa* e del *livello globale* di diffusione dell'AF, dal quale, in ultima analisi, dipende l'impatto occupazionale della tecnologia.

I dati nel seguito riportati fanno riferimento alle ricerche degli autori nell'ambito dell'attività del Centro di Economia dei Processi di Automazione del Consorzio MIP-Politecnico di Milano. Particolare attenzione viene dedicata ad una recente indagine campionaria svolta dagli autori all'interno di una più ampia ricerca sull'industria metalmeccanica italiana coordinata da Nomisma per conto di Federmeccanica, Assistal e dei sindacati FIM, FIOM e UILM; l'indagine ha mirato a valutare il grado di automazione al 1989 delle 11.067 unità locali appartenenti alle imprese aderenti a Federmeccanica, le quali occupavano, a fine 1987, 834.770 addetti. Tale insieme di imprese, oltre a rappresentare una componente rilevante dell'industria metalmeccanica italiana (circa la metà del totale), ne rispecchia alquanto fedelmente la composizione dimensionale e settoriale, ed offre perciò uno spaccato significativo ed altamente attendibile della diffusione dell'AF in Italia.

La diffusione inter-impresa

Il quadro generale. Il processo diffusivo delle apparecchiature e sistemi di AF all'interno dell'industria metalmeccanica italiana è attualmente entrato nella fase del *decollo*, con tassi di adozione in generale consistenti, ed in rapida crescita. Tale affermazione è ben documentata dai dati generali sul livello di

diffusione inter-impresa, all'inizio del 1989, presso gli 11.067 stabilimenti aderenti a Federmeccanica, riportati in Tab. 1. Gli adottatori di tecnologie di AF nella sfera della produzione e della progettazione vengono infatti stimati rispettivamente nel 12,1% e 18,8% dell'universo.

Tabella 1: La diffusione delle tecnologie di automazione flessibile nell'industria metalmeccanica italiana, al 1989. Numero di adottatori fra le unità locali aderenti a Federmeccanica e numero di apparecchiature/sistemi installati

Tecnologia	Unità locali adottatrici		Numero di apparecchiature e sistemi
	Num.	Tasso di adozione	
Apparecchiature e sistemi di produzione	1.344	12,1%	—
Machining center	818	7,4%	4.471
Robot	507	4,6%	3.784
Sistemi a CN	326	2,9%	1.005
Sistemi a CND	170	1,5%	458
Sistemi di progettazione	2.079	18,8%	2.782
CAD	1.580	14,3%	1.827
CAM	304	2,7%	425
CAD/CAM	396	3,6%	530

Fonte: Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

La Tabella evidenzia tuttavia *l'ampia differenziazione* dei livelli di diffusione per le varie innovazioni originatesi dal paradigma dell'AF. Si nota infatti che i tassi di adozione per la sfera progettuale superano di gran lunga quelli per la sfera produttiva; consistenti differenze emergono anche all'interno di ogni singola sfera di attività. L'attento esame dei tassi di adozione relativi alle varie tecnologie permette di individuare tre tipologie di traiettorie del processo diffusivo.

La prima categoria comprende le *innovazioni vincenti*, entrate ormai con forza nella fase del pieno sviluppo. In tale categoria si collocano il CAD, che con 1.580 adottatori, pari al 14,3% dell'universo, per un totale di 1.827 sistemi installati, rappresenta la tecnologia con i valori massimi dei tassi di adozione, e, nella sfera produttiva, i *machining center* a CNC ed

i robot, con tassi di adozione pari, rispettivamente, al 7,4% ed al 4,6%, per un totale di 4.471 e 3.784 apparecchiature installate (in configurazione *stand alone*) da 818 e 507 adottatori.

Tali innovazioni sono caratterizzate da una dinamica diffusiva estremamente rapida. Per quanto un'esame puntuale dell'andamento nel tempo delle curve di diffusione non sia possibile, alcune indicazioni impressionistiche, ma già significative sono fornite a questo proposito da un confronto con i risultati riportati in Ucimu-Politecnico di Milano (1987) e in Cainarca et al. (1987 e 1989a), relativi alla diffusione delle tecnologie di AF, a fine 1984, presso un campione di quasi 3.000 stabilimenti metalmeccanici italiani (*database* FLAUTO). Le differenze metodologiche fra le due indagini e la diversità dell'universo considerato inibiscono un esame comparato rigoroso; ciò nonostante, la rapidità del processo diffusivo del CAD ed, in minor misura, dei *machining center*, emerge con chiarezza, se si considera che il tasso di adozione di CAD nel campione esaminato da Cainarca et al. è pari a solo il 3,7%, e che il numero di *machining center* installati nell'industria metalmeccanica italiana nel 1984 è stimato da Ucimu-Politecnico di Milano (1987) in 3.200 unità, cioè circa il 30% in meno dei valori stimati al 1989 per l'universo dei soli aderenti a Federmeccanica[12].

Alcune caratteristiche accomunano le innovazioni incluse in questa categoria. Innanzitutto, il loro costo è contenuto, perlomeno in termini comparati. Ciò vale, in particolare, per i sistemi CAD basati su PC, i quali rappresentano oltre il 50% del parco di CAD installati[13]. In secondo luogo, anche in questo caso soprattutto per i CAD, la diffusione di standard industriali universalmente accettati e l'ampia offerta di servizi di supporto hanno ridotto in misura considerevole le barriere connesse sia al pericolo di futuri *sunk costs* che all'accesso a conoscenze e competenze specialistiche. Infine, l'introduzione ed efficiente utilizzo delle apparecchiature comprese in questa categoria, comporta, in molti casi, modifiche di portata ridotta nell'organizzazione aziendale; in altri termini, esse danno luogo ad incrementi di produttività «locali», senza rilevanti effetti di sistema[14].

Una seconda categoria di innovazioni comprende le tecnologie il cui processo di diffusione, per quanto rapido, permane in una *fase post-introduttiva*. Si tratta innanzitutto dei sistemi flessibili di produzione, soprattutto a CND, ed, in progettazione, dei CAD/CAM. Per i sistemi a CND, infatti, il tasso di adozione al 1989 tra le unità locali aderenti a Federmeccanica è ancora molto contenuto, e pari all'1,5% (170 adottatori, per un totale di 458 sistemi installati); per i Cad/Cam tale valore sale al 3,6% (530 sistemi installati da 396 adottatori).

Il potenziale innovativo di tali tecnologie è notevole ed il loro impatto sulle strutture produttive radicale. Tuttavia, ed in parte proprio per tale ragione, barriere all'adozione ben più elevate rispetto al caso precedente si oppongono al decollo del processo diffusivo, polarizzandone significativamente le direzioni, come sarà meglio chiarito nei paragrafi successivi. Esse sono connesse da un lato a costi di investimento di un ordine di grandezza superiore, che per i sistemi flessibili a CND, anche nelle configurazioni più semplici, raggiungono facilmente alcuni miliardi di lire; dall'altro, alla rilevanza delle implicazioni di tali soluzioni tecnologiche sulle strutture organizzative e le procedure manageriali, con riferimento sia alle innovazioni gestionali che si accompagnano alla loro introduzione (tecniche di gestione *just in time*, *total quality control*, *group technology*, ecc.), sia alla necessità di una riconfigurazione e razionalizzazione globale dei processi produttivi quale indispensabile strumento per la materializzazione degli incrementi di efficienza da esse potenzialmente permessi[15].

La terza, ed ultima, categoria di soluzioni tecnologiche coincide con le *innovazioni perdenti*, cioè le innovazioni che, rese obsolete dalle superiori prestazioni di soluzioni competitive, si sono adagiate in una precoce maturità, con tassi di adozione contenuti e stabili nel tempo. È il caso tipicamente del CAM, spiazzato dall'evoluzione del progresso tecnico verso l'integrazione delle funzioni da esso svolte con quelle del CAD, nei sistemi CAD/CAM. Il numero di adottatori di CAM all'interno degli stabilimenti aderenti a Federmeccanica è pari a 304 unità (425 sistemi installati), le quali corrispondono ad un

Tabella 2: Unità locali aderenti a Federmeccanica adottatrici al 1989 di soluzioni di automazione flessibile in produzione, per tipologia applicativa

Sfera applicativa	Unità locali adottattrici	
	Num.	Tasso di adozione
Lavorazione	1.031	9,3%
Montaggio	265	2,4%
Manipolazione	152	1,4%
Saldatura	239	2,2%
Verniciatura	134	1,2%
Totale	1.344	12,1%

Fonte: Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

tasso di adozione del 2,7%, assai contenuto e, ciò che più conta, inferiore di un punto percentuale a quello evidenziato, per il 1984, in Cainarca et al. (1989a).

A conclusione del quadro generale, appare utile sottolineare, anche in relazione all'analisi che seguirà nel Capitolo Terzo, come le differenze nei tassi di adozione riguardino non solo le diverse tipologie tecnologiche, ma anche, come mostrato dalla Tab. 2 con esclusivo riferimento alle apparecchiature e sistemi di produzione, le diverse tipologie applicative. Se, infatti, la diffusione delle apparecchiature e sistemi di lavorazione (per asportazione e per deformazione) è assai elevata, con tassi di adozione al 1989 del 12,1%, decisamente minore è la diffusione delle apparecchiature di montaggio (7,4%), mentre per le altre applicazioni (manipolazione, saldatura, verniciatura) la numerosità degli adottatori è ancora molto contenuta.

La diffusione inter-impresa per classi dimensionali e per settore di attività. L'analisi dei tassi di adozione per classi dimensionali può essere svolta con l'ausilio delle Tabelle 3, 4 e 5, relative rispettivamente alle apparecchiature e sistemi di produzione, ai sistemi *computer aided* di progettazione, ed alle tipologie applicative delle apparecchiature di produzione, globalmente considerate.

Il risultato più rilevante che emerge dai dati riportati nelle tabelle è che, in conformità alle argomentazioni proposte nel

Tabella 3: Unità locali aderenti a Federmeccanica adottatrici al 1989 di soluzioni di automazione flessibile in produzione, per tipologia tecnologica e classe dimensionale

Classe dimensionale (addetti 1987)	Unità locali adottatrici										Totale	
	Totale		Machining center		Robot		Sistemi a CN		Sistemi a CND			
			num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%
1-50	454	6,0	305	4,0	108	1,4	94	1,2	36	0,5	7.547	100
51-100	317	15,2	193	9,3	106	5,1	72	3,5	32	1,5	2.078	100
101-200	212	28,3	97	12,9	80	10,7	52	6,9	23	3,1	750	100
201-500	211	4,2	137	28,7	107	22,4	38	8,0	26	5,5	5	477
Totale	1.344	12,1	817	7,4	507	4,6	325	2,9	169	1,5	11.067	100

Fonte: Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

secondo paragrafo, i tassi di adozione al 1989 nell'universo degli stabilimenti aderenti a Federmeccanica sono, per tutte le tipologie tecnologiche, *linearmente crescenti* con le dimensioni degli stabilimenti stessi. Nella sfera produttiva, i tassi di adozione passano dal 6% per la classe dimensionale minore (numero di addetti compreso tra 1 e 50) a quasi il 70% per quella maggiore (oltre 500 addetti); nella sfera progettuale l'incremento è percentualmente più contenuto (da 11% a 71%), per quanto occorra tener conto che per le imprese di grandissima dimensione la centralizzazione delle attività di progettazione in apposite unità specializzate deprime significa-

Tabella 4: Unità locali aderenti a Federmeccanica adottatrici al 1989 di soluzioni di automazione flessibile in progettazione, per tipologia tecnologica e classe dimensionale

Classe dimensionale (addetti 1987)	Unità locali adottatrici								Totale	
	Totale		CAD		CAM		CAD/CAM			
	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%
1-50	863	11,4	652	8,7	120	1,6	119	1,6	7.547	100
51-100	431	20,7	303	14,6	39	1,9	104	5,0	2.078	100
101.200	354	47,2	289	38,5	63	8,4	71	9,5	750	100
201-500	279	58,5	212	44,4	37	7,8	71	14,9	477	100
oltre 500	152	70,7	124	57,7	45	20,9	31	14,4	215	100
Totale	2.079	18,8	1.580	14,3	304	2,7	396	3,6	11.067	100

Fonte: Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Tabella 5: Unità locali aderenti a Federmeccanica adottatrici al 1989 di soluzioni di automazione flessibile della produzione per tipologia applicativa e classe dimensionale

Classe dimensionale (addetti 1987)	Unità locali adottatrici										Totale	
	Lavorazione		Montaggio		Manipolazione		Saldatura		Verniciatura			
	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%
1-50	410	5,4	31	0,4	8	0,1	41	0,5	19	0,3	7.547	100
51-100	245	11,8	53	2,6	14	0,7	75	3,6	20	1,0	2.078	100
101-200	132	17,6	57	7,6	17	2,3	35	4,7	15	2,0	750	100
201-500	147	30,8	66	13,6	48	10,1	29	6,1	17	3,6	477	100
Oltre 500	97	45,1	58	27,0	65	30,2	59	27,4	62	28,8	215	100
Totale	1.031	9,3	265	2,4	152	1,4	239	2,2	134	1,2	11.067	100

Fonte: Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

tivamente i tassi di adozione rilevati dall'indagine[16]. Concentrando l'attenzione sulla classe dimensionale maggiore, si nota poi come l'insieme degli adottatori sia ormai ampio anche per le tecnologie più vicine alle frontiere tecnologiche. In particolare, il numero di adottatori di sistemi flessibili di produzione a CND viene stimato pari a 52, con un tasso di adozione del 24,2%.

Tuttavia, alla regolarità sopra evidenziata si sovrappongono notevoli differenziazioni del profilo dimensionale dei tassi di adozione per le diverse tipologie tecnologiche, in funzione del diverso impatto presso l'insieme delle unità minori delle barriere all'adozione descritte.

In termini specifici, per quanto concerne i *machining center* e, soprattutto, i CAD, soggetti, come visto, a barriere all'adozione in generale di minor altezza, l'impresa minore appare penalizzata in misura decisamente inferiore a quanto avviene per le rimanenti tecnologie. I livelli di diffusione sono già relativamente elevati nella classe con numero di addetti compreso fra 1 e 50 (rispettivamente, 4% e 8,7%), tanto che il rapporto fra i tassi di adozione nelle due classi estreme si mantiene inferiore a 10 per i *machining center* ed a 7 per i CAD. Vale anche la pena di ricordare come, per il campione esaminato da Cainarca et al. (1989a), tale rapporto fosse, nel 1984, superiore a 70 per i CAD, a testimonianza della rapidità

del processo di diffusione di tali apparecchiature anche nel tessuto dell'impresa minore.

Ben diverso è il discorso per le rimanenti tipologie tecnologiche. In particolare, per i sistemi a CND il valore del tasso di adozione per gli stabilimenti con oltre 500 addetti supera di ben 26 volte quello registrato presso gli stabilimenti minori, a causa di un livello di diffusione presso quest'ultimo insieme di stabilimenti ancora estremamente contenuto.

Infine, l'esame della Tabella 5, relativa, come detto, alle diverse applicazioni delle apparecchiature e sistemi di produzione, suggerisce come, mentre per la lavorazione il numero di stabilimenti adottatori di dimensioni contenute è già ampio (410 adottatori con numero di addetti inferiore o uguale a 50, pari al 5,4% del numero totale di stabilimenti di tale dimensione), lo stesso non possa dirsi per le rimanenti tipologie applicative. Per montaggio, manipolazione, saldatura e verniciatura, infatti, i tassi di adozione presso le unità locali di piccola e medio-piccola dimensione (numero di addetti inferiore o uguale a 100) si mantengono ben lontane dalla soglia del 5%.

Notevole interesse riveste anche l'analisi dei tassi di adozione per settore di attività degli stabilimenti. Essi sono riportati nelle Tabelle 6, 7 e 8, relative, come le precedenti, rispettivamente alla sfera della produzione, alla sfera progettuale, ed alle tipologie applicative delle apparecchiature e sistemi di produzione.

Per quanto l'aggregazione adottata da Federmeccanica consenta di evidenziare solo in parte le caratteristiche settoriali puntuali del modello di diffusione dell'AF, nondimeno i risultati riportati nelle Tabelle mostrano chiaramente le rilevanti *polarizzazioni settoriali* cui il processo diffusivo è soggetto, le quali interagiscono con i caratteri dimensionali nel determinare tasso e direzione del processo. È anche palese come tali polarizzazioni concernano sia la tipologia delle apparecchiature che la sfera applicativa in cui esse vengono utilizzate.

In primo luogo, i differenziali cross-settoriali nei livelli di diffusione confermano l'esistenza di *settori traenti* del processo diffusivo. Essi possono essere individuati:

Tabella 6: Unità locali aderenti a Federmeccanica adottatrici al 1989 di soluzioni di automazione flessibile in produzione, per tipologia tecnologica e settore di attività

Settore di attività	Unità locali adottatrici										Totale	
	Totale		Machining center		Robot		Sistemi a CN		Sistemi a CND			
	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%
Lavorazione metalli	98	8,5	55	4,8	58	5,0	18	1,6	3	0,3	1.151	100
Mezzi di trasporto	181	16,0	121	10,7	98	8,7	45	4,0	29	2,6	1.130	100
di cui:												
Autoveicoli, cicli e moto	171	17,2	111	11,2	97	9,8	44	4,4	28	2,8	992	100
Aeronautica	10	52,6	10	52,6	1	5,3	1	5,3	1	5,3	19	100
Meccanica	848	11,8	563	7,9	256	3,6	207	2,9	106	1,5	7.177	100
Prodotti elettrici, elettronici e informatici	217	13,5	79	4,9	95	5,9	56	3,5	32	2,0	1.609	100
di cui:												
Elettronici/informatici	13	16,3	0	0,0	8	10,0	5	6,3	11	13,8	80	100
Totale	1.344	12,1	818	7,4	507	4,6	326	2,9	170	1,5	11.067	100

Fonte: Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

a) nel settore degli autoveicoli, cicli e motocicli, in cui si concentrano ben 171 adottatori di apparecchiature e sistemi di produzione, con un tasso di adozione del 17,2%, più del 40% superiore alla media generale;

Tabella 7: Unità locali aderenti a Federmeccanica adottatrici al 1989 di soluzioni di automazione flessibile in progettazione, per tipologia e settore di attività

Settore di attività	Unità locali adottatrici								Totale	
	Totale		CAD		CAM		CAD/CAM			
	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%
Lavorazione metalli	157	13,6	23	10,7	18	1,6	23	2,0	1.151	100
Mezzi di trasporto	171	15,1	115	10,2	16	1,4	45	4,0	1.130	100
di cui:										
Autoveicoli, cicli e moto	153	15,4	112	11,3	16	1,6	30	3,0	992	100
Aeronautica	16	84,2	1	5,3	0	0,0	15	78,9	19	100
Meccanica	1.307	18,2	968	13,5	205	2,9	295	4,1	7.177	100
Prodotti elettrici, elettronici ed informatici	444	27,6	374	23,2	65	4,0	33	2,1	1.609	100
di cui:										
Elettronici/informatici	38	47,5	33	41,3	1	1,3	1	1,3	80	100
Totale	2.079	18,8	1.580	14,3	304	2,7	396	3,6	11.067	100

Fonte: Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Tabella 8: Unità locali aderenti a Federmeccanica adottatrici al 1989 di soluzioni di automazione flessibile della produzione per tipologia applicativa e settore di attività

Settore di attività	Unità locali adottatrici										Totale	
	Lavorazione		Montaggio		Manipolazione		[illegible]		Verniciatura			
	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%	num.	%
Lavorazione metalli	82	7,1	16	1,4	26	2,3	0	0,0	0	0,0	1.151	100
Mezzi di trasporto	127	11,4	45	4,0	36	3,2	56	5,0	30	2,7	1.130	100
di cui:												
Autoveicoli, cicli e moto	117	11,8	45	4,5	36	3,6	56	5,6	29	2,9	992	100
Aeronautica	10	52,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	5,3	19	100
Meccanica	712	9,9	110	1,5	66	0,9	133	1,8	83	1,1	7.177	100
Prodotti elettrici, elettronici ed informatici	110	6,8	94	5,8	24	1,5	50	3,1	21	1,3	1.609	100
di cui:												
Elettronici/informatici	0	0,0	11	13,8	3	3,8	6	7,5	1	1,3	80	100
Totale	1.031	9,3	265	2,4	152	1,4	239	2,2	134	1,2	11.067	100

Fonte: Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

b) nell'aeronautica, con tassi di adozione nelle sfere produttiva e progettuale pari, rispettivamente, a 52,6% (+335% rispetto alla media) e 84,2% (+348%);

c) nell'elettronica ed informatica, con tassi di adozione del 16,3% in produzione (+35%) e del 47,5% in progettazione (+153%).

Occorre tuttavia rilevare come all'interno di tali settori il processo diffusivo non abbia avuto un decorso uniforme. Due ragioni concorrono a tale esito.

Da un lato, esiste un problema di *applicabilità* di determinate soluzioni tecnologiche. Ad esempio, è chiaro come l'assenza nel settore elettronico/informatico di adottatori di *machining center* vada fatta risalire, in buona sostanza, alla numerosità limitatissima delle operazioni di asportazione: coerentemente non si hanno in tale settore adottatori di apparecchiature/sistemi di lavorazione, mentre alquanto elevati sono i tassi di adozione di robot (10%, con un incremento del 117% rispetto alla media generale), di sistemi a CN (6,3%, +117%) e a CND (13,8%, addirittura +820%), utilizzati essenzialmente in appli-

cazioni di montaggio (tasso di adozione del 13,8% rispetto ad una media generale pari a solo il 2,4%) e, in misura inferiore, di saldatura (7,5% contro 2,2%).

Dall'altro lato, occorre considerare come i livelli di diffusione risentano anche dei rapporti di *sostituibilità* fra soluzioni tecnologiche in parte competitive. Un caso paradigmatico è fornito dal settore dell'aerospazio, il cui ruolo di punta nello sviluppo delle tecnologie di AF, sia in produzione che in progettazione, è ben documentato nella letteratura economica[17]. Esso presenta tassi di adozione pari a ben il 78,9% per il CAD/CAM, rispetto ad una media cross-settoriale del 3,6%, ma solamente al 5,3% per il CAD, percentuale decisamente inferiore al valor medio di 14,3%; sono inoltre assenti nel settore adottatori di CAM. Tali dati testimoniano il rapido processo di *upgrading* tecnologico delle imprese aeronautiche, che, attraverso la sostituzione di sistemi CAD e CAM con sistemi CAD/CAM, le ha ben presto portate in prossimità della frontiera tecnologica. A supporto di tale interpretazione basti ricordare che, nel 1984, sulla base di quanto riportato in Cainarca et al. (1989a), il tasso di adozione di CAD raggiungeva il 19,1% ed era superiore, per quanto di poco, a quello del CAD/CAM (14,3%).

La diffusione intra-impresa e globale

Benché l'analisi della velocità di crescita del numero di utilizzatori delle tecnologie di AF rivesta notevole interesse, essa rappresenta solo uno degli aspetti del processo diffusivo. Per avere un quadro generale del fenomeno, essa va infatti completata dall'esame dell'intensità con cui le unità adottatrici utilizzano le tecnologie in questione, cioè della diffusione *intra-impresa*. I livelli di diffusione inter-impresa ed intra-impresa concorrono poi a determinare il grado *globale* di diffusione all'interno del sistema industriale. Quest'ultimo aspetto riveste, evidentemente, un'importanza particolare alla luce degli obiettivi della presente ricerca, in quanto è esso che, in definitiva, determina l'estensione dell'impatto occupazionale. L'analisi svolta nel presente paragrafo rappresenta pertanto il

naturale punto di partenza per la valutazione dello «spiazzamento occupazionale» dell'AF, tema al quale è interamente dedicato il Capitolo successivo.

La determinazione del grado di diffusione intra-impresa e globale di una data tecnologia è un problema metodologicamente assai delicato (si veda, ad esempio, Gold, 1981). Un approccio rigoroso richiederebbe, innanzitutto, una stima del potenziale applicativo, il quale definisce la porzione dell'attività d'impresa cui la tecnologia risulta teoricamente applicabile, nei vari settori di attività. Esso rappresenta un valore massimo, che limita il livello di utilizzo della tecnologia da parte delle imprese adottatrici. Il grado di diffusione intra-impresa sarà dato, ad un certo istante, dal rapporto tra la percentuale dell'attività dell'impresa in cui la tecnologia ha trovato effettivamente applicazione ed il potenziale applicativo stesso. Nel caso in specie, stante la pervasività dell'AF, il potenziale applicativo può essere fatto coincidere, in prima approssimazione e pur con significative eccezioni sulle quali si tornerà nel seguito, con l'insieme delle attività dell'impresa adottatrice. Nondimeno, la scarsa disponibilità di dati[18] previene la possibilità di una misura puntuale del livello di diffusione intra-impresa, e quindi anche della diffusione globale, delle tecnologie di AF nell'industria italiana, e ne limita lo studio alla sola sfera produttiva.

Con riferimento anche in questo caso all'universo degli stabilimenti aderenti a Federmeccanica, l'analisi della diffusione intra-impresa dell'AF può basarsi sulle seguenti *proxies*:

a) numero di *machining center* e/o robot installati dalle unità locali adottatrici, normalizzato rispetto al numero totale di addetti (espresso in migliaia di unità);

b) numero di macchine di cui i sistemi di AF, a CN e/o CND, installati dalle unità locali adottatrici sono composti, normalizzato come sopra.

I livelli di diffusione globale saranno allora dati, nei due casi, rispettivamente, dal numero di *machining center* e/o robot installati e dal numero di macchine di cui i sistemi di AF sono composti, normalizzati con il numero complessivo di addetti[19].

Tabella 9: La diffusione intra-impresa e globale delle tecnologie di automazione flessibile della produzione fra le unità locali aderenti a Federmeccanica, al 1989

Tecnologia	Numero di sistemi (A)	Numero di macchine (B)	Numero di addetti nelle unità locali adottatrici (C)	(B*1000/C)	Numero di addetti (totale) (D)	(B*1000/D)	Numero di operai (operai) (E)	(B*1000/E)
Machining center & robot	–	8.255	366.999	22,5	834.770	9,9	571.597	14,4
Sistemi di automazione	1.463	10.916	206.671	52,8	834.770	13,1	571.597	19,1

Fonte: Elaborazione degli autori da Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Il quadro generale della diffusione intra-impresa e globale, all'inizio del 1989, delle tecnologie di AF presso gli stabilimenti aderenti a Federmeccanica, alla luce degli indicatori sopra descritti, è fornito nella Tabella 9. Il livello medio di diffusione all'interno degli stabilimenti adottatori si misura in 22 *machining center* e/o robot ed in 53 macchine incorporate in sistemi flessibili a CN e/o CND ogni 1.000 addetti. Tenendo conto dei risultati sui livelli di diffusione inter-impresa descritti precedentemente, ne deriva un livello di diffusione globale di 10 *machining center* e/o robot e 13 macchine incorporate in sistemi di AF ogni 1.000 addetti occupati presso gli stabilimenti aderenti a Federmeccanica. Facendo riferimento all'insieme della sola manodopera operaia, tali dati salgono rispettivamente a 14 e 19.

Una valutazione oggettiva dell'entità del livello di diffusione sia intra-impresa che globale risulta oltremodo difficile, se non impossibile, per l'assenza di precisi parametri di riferimento. La sensazione degli autori, corroborata dalla poca evidenza disponibile nella letteratura economica[20], è che il processo di diffusione intra-impresa, e, di conseguenza, anche globale, sia stato *relativamente lento*, perlomeno se comparato alla rapida dinamica diffusiva inter-impresa, e che l'attuale livello di diffusione vada ritenuto, nel complesso, ben lontano dal potenziale diffusivo.

Tabella 10: La diffusione intra-impresa e globale al 1989 di machining center e robot tra le unità locali aderenti a Federmeccanica, per classe dimensionale

Classe dimensionale (addetti 1987)	Numero di machining center & robot (A)	Addetti nelle unità locali adottatrici (B)	(A*1000/B)	Addetti nella classe (C)	(A*1000/C)
1-50	904	12.488	72,4	126.764	7,1
51-100	1.086	19.710	55,1	112.875	9,6
101-200	793	22.645	35,0	105.991	7,5
201-500	1.757	61.018	28,8	149.854	11,7
Oltre 500	3.715	251.138	14,8	339.286	11,0
Totale	8.255	366.999	22,5	834.770	9,9

Fonte: Elaborazione degli autori da Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Tali considerazioni possono essere utilmente approfondite attraverso l'esame del profilo dimensionale (Tabelle 10 e 11) e settoriale (Tabelle 12 e 13) dei livelli di diffusione[21].

Per quanto concerne la dimensione degli stabilimenti adottatori, considerando le indivisibilità tecnologiche e, per i sistemi di AF, anche gli elevati volumi necessari per saturarne la capacità produttiva, è lecito attendersi una correlazione negativa fra questa ed i livelli di diffusione intra-impresa. Tale è il *pattern* che emerge dalla Tabella 10 relativamente a *machining center* e robot. Il numero delle apparecchiature di tale tipologia installate dagli adottatori aderenti a Federmeccanica decresce infatti linearmente, da 72 ogni 1.000 addetti per la categoria degli stabilimenti con numero di addetti compreso tra 1 e 50, sino a circa 15 nella classe dimensionale maggiore, con un rapporto tra i livelli di diffusione intra-impresa nelle due classi estreme di poco inferiore a 5.

Una fenomenologia in parte diversa caratterizza invece i sistemi a CN e CND (Tabella 11). Per essi, se è vero che le indivisibilità sono accentuate e la capacità produttiva maggiore rispetto alle macchine *stand alone*, risulta tuttavia che la complessità delle soluzioni adottate, in termini di numero medio di macchine per sistema, cresce con le dimensioni. Esso passa infatti da 3,6 nella classe dimensionale più piccola a 10,5 negli stabilimenti maggiori. Ne deriva un andamento non

lineare per i livelli di diffusione intra-impresa, caratterizzato da:

a) un decremento, più rapido che nel caso precedente, sino alla classe degli stabilimenti di medio-grande dimensione (numero di addetti fra 201 e 500), tanto che il rapporto tra i livelli di diffusione in tale classe e nella classe minore è pari a 1/5, rispetto a 1/2,5 per i *machining center* e robot;

b) un consistente incremento del livello di diffusione intra-impresa nella classe degli stabilimenti con più di 500 addetti, tanto che il rapporto fra la diffusione intra-impresa in tale classe e nella classe minore si attesta su un valore di poco superiore a 4.

Tabella 11: La diffusione intra-impresa e globale al 1989 dei sistemi di automazione flessibile della produzione fra le unità locali aderenti a Federmeccanica, per classe dimensionale

Classe dimensionale (addetti 1987)	Sistemi di AF		Addetti nelle unità locali aderenti (C)	(B*1000/C)	Addetti nella classe (D)	(B*1000/D)
	Numero sistemi (A)	Numero macchine (B)				
1-50	200	712	3.416	208,3	126.764	5,6
51-100	131	492	6.649	74,0	112.875	4,4
101-200	162	618	10.467	59,0	105.991	5,8
201-500	167	663	18.796	35,3	149.854	4,4
Oltre 500	803	8.432	167.343	50,4	339.286	24,9
Totale	1.463	10.916	206.671	52,8	834.770	13,1

Fonte: Elaborazione degli autori da Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

L'andamento del livello di diffusione globale al variare della dimensione degli stabilimenti risulta, ovviamente, dalla composizione del *pattern* sopra descritto con quello della diffusione inter-impresa, linearmente crescente con la dimensione. Ne deriva un andamento non monotonico, con significative differenze, anche qualitative, tra le soluzioni *stand alone* e le soluzioni integrate.

Per i *machining center* ed i robot si ha infatti un andamento oscillante; il livello massimo di diffusione, pari a 12 macchine ogni 1.000 addetti, è raggiunto nella classe con numero di addetti compreso tra 201 e 500. Per i sistemi a CN e CND,

invece, il livello della diffusione globale rimane su valori contenuti, inferiori a 6 macchine ogni 1.000 addetti, sino alla classe dimensionale maggiore, oscillando in uno spettro ristretto compreso tra 4,4 e 5,8. Per quest'ultima classe si registrano invece valori 5 volte superiori (circa 25 macchine per 1.000 addetti), grazie sia ai tassi di adozione decisamente più elevati, che al maggior numero di macchine di cui, mediamente, i sistemi adottati si compongono. è interessante sottolineare come l'andamento sia qualitativamente simile per i sistemi di lavorazione e per quelli di montaggio ed assemblaggio. Per questi ultimi, però, il livello di diffusione globale nella classe dimensionale maggiore è più elevato (14 macchine rispetto a 11), grazie sostanzialmente al valore più elevato dei tassi di adozione.

Passando all'analisi dei livelli di diffusione intra-impresa e globale in funzione dei settori di attività degli stabilimenti, va innanzitutto premesso che il problema della definizione rigorosa del potenziale applicativo della tecnologia risulta in questo caso rilevante, per le polarizzazioni che può indurre sugli indicatori dei livelli di diffusione. Infatti, nonostante il carattere pervasivo dell'AF, considerata come un grappolo di tecnologie, è indubbio che il potenziale applicativo delle specifiche tecnologie di cui tale grappolo si compone, quando vengano considerate singolarmente, varia ampiamente con il settore di attività in funzione del diverso peso delle varie applicazioni (asportazione, deformazione, montaggio, saldatura, ecc.). Tale osservazione suggerisce la massima cautela nell'interpretare i dati riportati nelle Tabelle 12 e 13, in attesa di più rigorose conferme.

Ciò nondimeno, le tabelle evidenziano alcune regolarità di notevole interesse. In generale, esse confermano il ruolo trainante dei settori degli autoveicoli, dell'aeronautica e dell'elettronica/informatica. Un livello assai elevato di diffusione intra-impresa dei sistemi di AF caratterizza, in particolare, gli stabilimenti dediti alla produzione di autoveicoli, cicli e motocicli: il numero di macchine incorporate nei sistemi di AF installati, normalizzato con il numero di addetti occupati presso gli stabilimenti adottatori, espresso in migliaia di unità, è infatti

pari a 76. Accoppiato ai tassi di adozione particolarmente brillanti evidenziati da tale settore, esso dà luogo ad un livello di diffusione globale pari a 39 macchine ogni 1.000 addetti (52 ogni 1.000 operai) di ben tre volte superiore al valore medio cross-settoriale.

Tabella 12: La diffusione intra-impresa e globale al 1989 di machining center e robot tra le unità locali aderenti a Federmeccanica, per settore di attività

Settore di attività	Numero di machining center & robot (A)	Addetti nelle unità locali adottatrici (B)	(A*1000/B)	Adetti nel settore (C)	(A*1000/C)	Operai nel settore (D)	(A*1000/D)
Lavorazione metalli	423	26.181	16.1	91.916	4,6	71.260	5,9
Mezzi i trasporto	2.952	166.660	17,7	218.146	13,5	163.083	18,1
di cui:							
Autoveicoli, cicli e moto	2.608	160.049	16,3	203.708	12,8	153.716	17,0
Aeronautica	344	6.611	52,0	9.945	34,6	5.728	60,0
Meccanica	3.710	106.677	34,8	353.804	10,5	236.931	15,7
Prodotti elettrici, elettronici ed informatici	1.170	67.481	17,3	170.904	6,8	100.323	11,7
di cui:							
Elettronici/informatici	94	17.477	5,4	30.219	3,1	8.473	11,2
Totale	8.255	366.999	22,5	834.770	9,9	571.597	14,4

Fonte: Elaborazione degli autori da Banca dati sull'industria meccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Per i settori dell'aeronautica e, soprattutto dell'elettronica ed informatica, il discorso è più complesso, in quanto si rendono palesi i problemi di *applicabilità* della tecnologia cui si è fatto in precedenza riferimento. In termini più specifici, il peso irrilevante nell'elettronica ed informatica delle operazioni di asportazione e la difficile applicazione dell'AF a numerose operazioni di montaggio tipiche del settore dell'aerospazio, ne riducono il potenziale diffusivo, influenzando pesantemente, in senso negativo, gli indicatori qui utilizzati. L'elevata incidenza in tali settori dei «colletti bianchi» contribuisce ulteriormente a deamplificarne i valori, quando venga considerato esclusivamente il numero di addetti totale (piuttosto che il numero di operai).

Conformemente a tali osservazioni, nel settore dell'elettronica ed informatica la diffusione intra-impresa di *machining center* e robot è relativamente contenuta, tanto che il livello di diffusione globale non supera il valore medio cross-settoriale. Per quanto concerne i sistemi flessibili, invece, nonostante l'effetto negativo sopra ricordato si evidenzi nell'assenza di sistemi di lavorazione, la diffusione intra-impresa dei sistemi di montaggio ed assemblaggio è ampia; combinata a tassi di adozione particolarmente elevati, essa genera un valore per la diffusione globale che, espresso più correttamente rispetto al numero di operai, supera del 121% il valore medio cross-settoriale (42,5 macchine ogni 1.000 operai contro 19), rimanendo tuttavia del 18% inferiore al valore per il settore degli autoveicoli.

Tabella 13: La diffusione intra-impresa e globale al 1989 dei sistemi di automazione flessibile della produzione fra le unità locali aderenti a Federmeccanica, per settore di attività

Settore di attività	Sistemi di AF		Addetti nelle unità locali adottatrici (C)	(B*1000/C)	Addetti nel settore (D)	(B*1000/D)	Operai nel settore (E)	(B*1000/E)
	Numero di sistemi (A)	Numero macchine (B)						
Lavorazione metalli	57	185	2.151	85,9	91.916	2,0	71.260	2,6
Mezzi di trasporto	716	7.955	110.002	72,3	218.146	36,5	163.083	48,8
di cui: Autoveicoli, cicli e moto	712	7.945	104.656	75,9	203.708	39,0	153.716	51,7
Aeronautica	3	10	5.346	1,9	9.945	1,0	5.728	1,7
Meccanica	565	2.015	52.471	38,4	353.804	5,7	236.931	8,5
Prodotti elettrici, elettronici ed informatici	126	762	42.046	18,1	170.904	4,5	100.323	7,6
di cui: Elettronici/informatici	41	360	21.974	16,4	30.219	11,9	8.473	42,5
Totale	1.463	10.916	206.671	52,8	834.770	13,1	571.597	19,1

Fonte: Elaborazione degli autori da Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Considerazioni speculari valgono per l'aerospazio. In tale settore la diffusione intra-impresa dei sistemi di AF è molto contenuta (1,9 macchine ogni 1.000 addetti). Ne derivano, ovviamente, bassi livelli di diffusione globale. Al contrario, particolarmente massiccia è la diffusione intra-impresa, ed, a maggior ragione, globale, di *machining center* e robot: il numero di apparecchiature di tale tipologia installate dagli stabilimenti adottatori aderenti a Federmeccanica raggiunge le 52 unità per 1.000 addetti, un valore più che doppio della media cross-settoriale ed ampiamente superiore a quello di tutti gli altri settori. In termini di diffusione globale, si ottengono valori di 35 macchine ogni 1.000 addetti e 60 ogni 1.000 operai, con un incremento rispetto alle medie cross-settoriali pari, rispettivamente, al 249% e 314%[22].

5. *Un tentativo di comparazione internazionale*

A conclusione del presente Capitolo appaiono utili alcune brevi considerazioni di sintesi, tese a fare il punto sull'attuale stadio del processo diffusivo delle tecnologie di AF nell'industria metalmeccanica italiana. Esse risultano, in particolare, di grande utilità per la costruzione di possibili scenari evolutivi di medio periodo, che servano di supporto all'elaborazione di alcune indicazioni, di larga massima e soggette ovviamente ad ulteriori approfondimenti analitici, sull'andamento nel prossimo decennio dell'impatto occupazionale dell'AF.

La maniera più naturale per fornire valutazioni in questo ambito è di procedere ad un'esame comparato dei livelli di diffusione globale nell'industria italiana in rapporto alla situazione nei principali paesi avanzati, al fine di evidenziare eventuali *lags* diffusivi, processi di rincorsa tecnologica o, al contrario, dinamiche diffusive divergenti. Purtroppo, la scarsità e limitata omogeneità dell'evidenza empirica disponibile a livello internazionale, sintetizzata nelle Tabelle 14, 15 e 16, permette più di avanzare congetture, che di elaborare tesi puntualmente circostanziate. Tuttavia, il quadro che, pur in modo impressionistico, emerge, rivela caratteri di notevole interesse.

In generale, il processo di penetrazione dell'AF nel tessuto produttivo dei principali paesi avanzati, iniziato nei primi anni Settanta, è entrato, negli anni Ottanta, nella fase del decollo. La sua dinamica, però, appare relativamente lenta, con considerevoli differenziazioni tra le specifiche tecnologie originatesi dal paradigma dell'AF e significative polarizzazioni relative sia ai settori di utilizzo che alla dimensione dei potenziali adottatori.

Specificatamente, la penetrazione delle tecnologie progettuali si è mostrata assai più rapida di quella attinente alla sfera della produzione — per quanto sia utile sottolineare in questa sede che il loro impatto diretto sui livelli occupazionali appare limitato (si veda il Capitolo Terzo). Inoltre, le soluzioni tecnologiche caratterizzate da minori costi di investimento, che si sono giovate di una rapida affermazione sul mercato di standard industriali vincenti, e che, grazie alla minore complessità sistemistica, richiedono in minor misura competenze tecnologiche e manageriali specialistiche ed innovazioni complementari nella sfera dell'organizzazione e del *management*, hanno raggiunto livelli di diffusione globale più elevati. Infine, le imprese di maggiori dimensioni, attive, in particolare, nel settore degli autoveicoli, nell'aeronautica e nell'elettronica ed informatica, hanno avuto un ruolo traente per il processo diffusivo.

La pervasività dell'AF si è manifestata essenzialmente in un processo di diffusione inter-impresa relativamente efficiente, soprattutto per le imprese ed i settori sopra ricordati. Al contrario, la diffusione intra-impresa ha incontrato ostacoli di difficile e lento superamento, anche da parte degli adottatori pioneristici. L'internalizzazione delle competenze richieste per un utilizzo efficiente delle nuove tecnologie ed il percorrimento delle curve di apprendimento, con specifico riguardo ai processi di mutuo aggiustamento tra tecnologia ed organizzazione aziendale, hanno richiesto infatti tempi lunghi[23].

Passando all'esame della posizione dell'Italia in tale contesto internazionale, essa evidenziava, perlomeno sino ai primi anni Ottanta, un chiaro ritardo rispetto ai paesi che occupano la *leadership* tecnologica in questo campo (soprattutto Giappone, Svezia e Germania).

L'evidenza a supporto di tale affermazione è ampia. Ad esempio, gli investimenti in automazione avanzata (sistemi CAD/CAE, sistemi *computer aided* di gestione della produzione, robot, FMS) rappresentavano nel 1980 una quota degli investimenti in automazione di ben 5 volte inferiore alla quota per il Giappone, e del 40% inferiore alla media Europea (si veda la Tabella 14). Similmente (Tabella 15), nonostante un *pattern* di

Tabella 14: Indicatori di livello e velocità dei processi di automazione nel settore manifatturiero. USA, Giappone, Europa, Italia

	Investimenti in automazione su investimenti totali			
	Incidenza %		Evoluzione (numeri indice)	
	1980	1985	1980	1985
USA	14,9	38,8	100	260,4
Giappone	4,6	22,6	100	491,3
Europa	3,1	11,8	100	380,6
Italia (a)	3,3	15,2	100	460,6

	Investimenti in automazione avanzata su investimenti in automazione (b)			
	Incidenza %		Evoluzione (numeri indice)	
	1980	1985	1980	1985
USA	4,3	12,3	100	286,0
Giappone	36,2	31,0	100	85,6
Europa	9,3	22,0	100	236,6
Italia	6,6	20,8	100	315,2

(a) I dati relativi agli investimenti totali in Italia risultano sottostimati (approssimativamente del 20%) in quanto si riferiscono esclusivamente alle imprese con più di 20 addetti.

(b) Gli investimenti in automazione avanzata comprendono sistemi CAD/CAE, sistemi di gestione della produzione, robot, FMS. Gli investimenti in automazione comprendono, oltre ai precedenti, investimenti in macchine a Controllo Numerico, sistemi di movimentazione e magazzinaggio, sistemi per test e misura.

Fonte: Dosi e Moggi (1989).

specializzazione settoriale favorevole, il livello di diffusione globale di robot, espresso in termini di numero di robot installati sul numero totale di addetti, nel 1984, era nel nostro paese del 41% inferiore a quello tedesco, del 145% inferiore a

quello giapponese e del 153% a quello svedese, anche se allineato con il livello in Francia e superiore al valore per il Regno Unito. Tale situazione corrispondeva ad una più generale relativa arretratezza tecnologica dell'industria italiana, evidenziata anche dalla penetrazione più contenuta di tecnologie di precedente generazione, come le macchine a CN (si veda ancora la Tabella 15).

Va tuttavia sottolineato come l'industria italiana abbia vissuto nel corso della seconda parte degli anni Ottanta, e viva ancora oggi, un rapido processo di *rincorsa tecnologica*, testimoniato anche dai dati riportati nel presente Capitolo, che l'ha portata a recuperare in larga misura, se non ancora interamente, il *gap* rispetto agli altri paesi avanzati.

Tale processo è ben documentato dai dati di Tabella 14, relativi all'andamento del rapporto tra investimenti in automazione ed investimenti totali, e della quota dei primi pertinente all'automazione avanzata. In termini di numeri indice, con base nel 1980, i valori italiani nel 1985 sono ampiamente superiori sia a quelli statunitensi che alla media europea (461 e 315, contro, rispettivamente, 260 e 286, e 381 e 237). Un analogo andamento si evince dall'analisi del parco di robot installati al 1987, normalizzato rispetto al numero di occupati (Tab. 15). Grazie ad un tasso di crescita del 157% nel triennio 1984-87, il livello di diffusione globale di robot era nel 1987 il doppio di quello inglese, superiore al livello francese, e con un differenziale rispetto a Germania e Svezia ridotto al 25% e 111%. Tali risultati sono ulteriormente confermati dall'evidenza prodotta in Tabella 16, relativa al rapporto tra mercato degli FMS e valore aggiunto manifatturiero nei principali paesi avanzati. Il valore per l'Italia, per quanto depresso dal peso comparativamente più rilevante dell'industria leggera, ove gli FMS trovano, a oggi, rarissime applicazioni, è infatti superiore al valore inglese, per quanto ancora lontano dal Giappone, il quale influenza pesantemente il valore per gli «altri paesi industrializzati», dagli Stati Uniti e dalla Germania.

Tabella 15: La diffusione globale delle tecnologie di automazione nei paesi industrializzati

Paese	Macchine a CN (1984)			Robot (1984)		Robot (1987)		FMS (1984)		CAD (1984)	
	numero	tasso di diffusione (a)	incidenza % (b)	numero	tasso di diffusione (a)	numero	tasso di diffusione (a)	numero	tasso di diffusione (a)	numero	tasso di diffusione (a)
Stati Uniti	103.308	5.193	5,3	13.000	653	n.d.	n.d.	60	3,0	59.400	2.986
Giappone	n.d.	n.d.	5,2	21.000	1.421	n.d.	n.d.	113	7,7	n.d.	n.d.
Germania	46.435	5.758	5,1	6.600	818	14.900	1.847	25	3,1	11.000	1.364
Francia	n.d.	n.d.	5,0	2.750	570	6.577	1.363	41	8,5	n.d.	n.d.
Gran Bretagna	32.566	5.684	4,2	2.624	458	4.300	751	10	1,7	9.000	1.570
Svezia	6.010	6.790	n.d.	1.300	1.469	2.750	3.108	15	16,9	1.900	2.147
Italia	23.119	5.158	4,2	2.600	580	6.600	1.472	32	6,3	n.d.	n.d.

(a) Numero di apparecchiature per milione di occupati.
(b) Percentuale delle macchine a controllo numerico rispetto al parco macchine utensili.
Fonte: Ucimu (1987); Dosi e Moggi (1989); Bipe.

Tabella 16: Il mercato mondiale degli Fms nel 1987 in rapporto al valore aggiunto manifatturiero. Numeri indice (Italia = 100)

Paese	Numero indice
Stati Uniti	140,6
Germania	138,5
Francia	122,5
Gran Bretagna	93,7
Italia	100,0
Altri paesi industrializzati (a)	200,9

(a) Giappone, Canada, Australia, Nuova Zelanda, altri paesi europei.
Fonte: Elaborazione degli autori su dati Bipe e Ocse.

Note

[1] Si vedano ad esempio Thompson e Paris (1982), Skinner (1983), Jelinek e Goldhar (1984). Evidenza a questo proposito relativa al caso italiano è fornita in Cainarca et al. (1989b) e Mariotti et al. (1989).
[2] Per un approfondimento di tale tematica si rimanda a Cainarca et al. (1990).
[3] Occorre notare come la difficoltà di valutare il ritorno sugli investimenti in Af, ampiamente documentata in letteratura, contribuisca ad aumentare il costo del capitale.
[4] Tali costi possono essere limitati attraverso l'adozione di forme intermedie di Af, caratterizzate tuttavia da prestazioni inferiori rispetto ai sistemi più avanzati.
[5] Basti al proposito ricordare che il costo di un sistema Cad su *personal computer*, nelle configurazioni più semplici, è attualmente di poche decine di milioni.

[6] Ad esempio, nel settore dell'elettronica le lavorazioni per asportazione sono, in generale, assenti.
[7] Ad esempio, con riferimento al settore degli autoveicoli, mentre nella componentistica prevalgono le lavorazioni per asportazione, nelle fasi più a valle prevalgono il montaggio e la saldatura.
[8] Particolare rilievo assumono in questo contesto la dimensione tipica dei lotti delle imprese, che determina la possibilità stessa dell'adozione (si veda Turco, 1985), l'apertura alla competizione internazionale, l'estensione del fenomeno della subfornitura che, disattivando i meccanismi di induzione connessi alle forze del mercato, tende a ridurre la probabilità dell'adozione. Su quest'ultimo aspetto si veda Mariotti et al. (1989).
[9] Non è stata qui presa in considerazione la sfera del coordinamento gestionale e logistico. Va peraltro sottolineato come il processo diffusivo delle applicazioni dell'AF in tale sfera sia ancora nella fase della prima introduzione. Ne deriva che l'impatto occupazionale è estremamente difficile da discernere, e, comunque, allo stato attuale, assai contenuto.
[10] Tali dimensioni appaiono assai più generali e significative per l'interpretazione del *pattern* diffusivo di quella, più usuale, che, con esclusivo riferimento alla sfera della produzione, distingue sulla base del numero di macchine, fra moduli, celle ed FMS. Quest'ultima variabile diviene invece essenziale, come chiarito nel Capitolo Terzo, per valutare l'impatto occupazionale delle apparecchiature di AF.
[11] Per semplicità, nel seguito con il termine di «sfera progettuale» si fa riferimento, oltre che a tale sfera, anche all'interfaccia progettazione/produzione.
[12] Dati di analoga affidabilità non sono invece disponibili per i robot programmabili. Secondo il BIPE, il numero di robot installati al 1984 nell'industria italiana sarebbe pari a 2.600, cioè, anche in questo caso, circa il 30% in meno rispetto alle stime campionarie per l'universo Federmeccanica.
[13] Le configurazioni più costose, basate su *mini-computers*, rappresentano solo il 12% del parco di CAD installato.
[14] Ciò vale per i CAD di sola disegnazione, che è lecito ritenere rappresentino la maggioranza delle attuali installazioni. Al contrario, gli effetti sistemistici di CAD di progettazione ed ingegnerizzazione sono rilevanti, in quanto gli incrementi di efficienza a seguito della loro adozione risultano strettamente dipendenti da contestuali investimenti in processi complessi di ridefinizione e razionalizzazione della gamma di prodotti dell'azienda.
[15] Tale aspetto è ampiamente documentato in Mariotti et al. (1989).
[16] Si noti, in particolare, come i tassi di adozione di sistemi di progettazione crollino dall'84,8% nella classe dimensionale con numero di addetti compreso fra 1000 e 5000, a solo il 30% per gli stabilimenti con più di 5000 addetti.
[17] Il ruolo traente del settore aeronautico nello sviluppo del CAD e delle macchine a CN è messo in rilievo rispettivamente da Kaplinsky (1983) e da Carlsson (1984).
[18] Un'indagine campionaria sui livelli di diffusione inter- ed intra-impresa di tutte le tecnologie di AF presso l'universo delle imprese metalmeccaniche italiane è attualmente in corso presso il Centro di Economia dei Processi di Automazione del Consorzio MIP-Politecnico di Milano.
[19] È interessante osservare come il livello di diffusione globale possa essere espresso in funzione dei livelli di diffusione inter- ed intra-impresa attraverso le seguenti formule. Indicando con: NAPP, il numero di *machining center* e robot installati, NADOT, il numero di adottatori, NTOT, il numero totale di stabilimenti, NADAD, il numero di addetti negli stabilimenti adottatori, e NTOTAD, il numero totale di addetti, risulta:

$$N_{APP}/N_{TOTAD} = (N_{ADOT}/N_{TOT}) * (N_{APP}/N_{ADAD}) * (N_{ADAD}/N_{ADOT}) * (N_{TOT}/N_{TOTAD})$$

dove: N_{APP}/N_{TOTAD} rappresenta il livello di diffusione globale di *machining center* e robot, N_{ADOT}/N_{TOT} il livello di diffusione inter-impresa, N_{APP}/N_{ADAD} il livello di diffusione intra-impresa, e il termine rimanente è il rapporto fra il numero medio di addetti negli stabilimenti adottatori ed il numero medio di addetti nel complesso della popolazione.
Analogamente, indicando con N_{MAC} il numero di macchine di cui si compongono i sistemi di AF installati, risulta:

$$N_{MAC}/N_{TOTAD} = (N_{ADOT}/N_{TOT}) * (N_{MAC}/N_{ADAD}) * (N_{ADAD}/N_{ADOT}) * (N_{TOT}/N_{TOTAD})$$

dove: N_{MAC}/N_{TOTAD} rappresenta il livello di diffusione globale dei sistemi di AF, N_{ADOT}/N_{TOT} il livello di diffusione inter-impresa, ed N_{MAC}/N_{ADAD} il livello di diffusione intra-impresa.

[20] Un recente studio di Mansfield (1989) esamina la diffusione intra-impresa dei robot presso un campione composto da 100 imprese statunitensi e 75 giapponesi, di dimensione medio-grande. Per quanto una comparazione con i dati qui presentati richieda grande cautela, per la diversità delle tecnologie, della metodologia di indagine e del profilo dimensionale delle unità esaminate, nondimeno esso fornisce alcuni grossolani parametri di riferimento. In particolare, concentrandosi sulla categoria degli stabilimenti aderenti a Federmeccanica ed adottatori di *machining center* e/o robot, con numero di addetti superiore a 500 (si veda la successiva Tab. 10), sembra ragionevole ritenere il livello di diffusione intra-impresa nell'industria italiana intermedio tra quello estremamente elevato delle imprese giapponesi (1,6 robot ogni 1.000 addetti nel settore dei metalli, 5 nella meccanica, 8,7 nell'elettronica e ben 24,5 negli autoveicoli) e quello assai più contenuto delle imprese statunitensi (solo lo 0,2, 0,8, 1,3 e 6, rispettivamente, nei quattro settori sopra menzionati).

[21] Poiché il rapporto fra operai ed addetti risulta sufficientemente stabile nelle diverse classi dimensionali, con valori compresi fra 67,3% e 69,4%, senza che emerga una chiara relazione con la dimensione degli stabilimenti, i livelli di diffusione globale fanno riferimento al solo numero complessivo di addetti.

[22] Va peraltro rilevato come a tale risultato contribuiscano anche le caratteristiche strutturali delle imprese italiane del settore. La dimensione tipica dei lotti di produzione, più ridotta che in altre nazioni (tipicamente gli Stati Uniti e la Germania), induce infatti le imprese a preferire a soluzioni integrate soluzioni *stand alone*.

[23] Al riguardo, basti ricordare che, come menzionato in Mansfield (1989), il raggiungimento della metà dello *stock* di robot attualmente installati ha richiesto alla Nissan, uno dei precoci adottatori su scala mondiale, 13 anni, e ben 20 anni a Ford e General Motors. Su tale tema si veda anche Dosi e Moggi (1989).

Capitolo Terzo

LA DIMENSIONE ED I CARATTERI DEGLI EFFETTI OCCUPAZIONALI INDOTTI DALL'AUTOMAZIONE FLESSIBILE

1. *Introduzione*

A metà degli anni Ottanta una *survey* sulla letteratura concernente l'*Information Technology* (Bessant et al., 1985) stimava in circa 60.000 le pubblicazioni sull'argomento. La rassegna evidenziava, inoltre, come oltre mille lavori indagassero, in forma più o meno estesa, il rapporto che lega fra loro le tecnologie microelettroniche/informatiche e l'occupazione.

La numerosità delle pubblicazioni, oltre che testimoniare l'interesse suscitato dall'argomento, suggerisce come l'ampia articolazione dei contributi possa implicare un'altrettanto estesa difficoltà nel giungere ad una sintesi omogenea della tematica. Da questo punto di vista anche l'obiettivo di indagare l'impatto sull'occupazione legato alla diffusione dell'AF, circoscrivendolo ai soli settori dell'industria metalmeccanica in Italia, non riduce le difficoltà insite nell'analisi del fenomeno.

Pur non riducendone l'interesse, l'obiettiva complessità della tematica AF-occupazione induce ad un approccio prudente e con una chiara definizione di modalità ed ambiti d'indagine, nonché a circoscrivere in termini più puntuali i quesiti che da essa discendono. In particolare, se è vero che le tecnologie dell'AF sono uscite dalla loro fase pionieristica e che, a propria volta, la diffusione di tali tecnologie sta perdendo i caratteri di un processo immanente, allora diviene possibile, oltre che attendibile, una valutazione degli effetti dell'impatto che queste ultime rivestono per l'occupazione, seppur limitatamente ad industrie determinate e ad una determinata data. Ciò significa non solo iniziare a gettare un po' di luce sulle effettive conseguenze dell'introduzione di AF per la forza lavoro, ma anche contribuire a migliorare la conoscenza delle reali motivazioni che inducono all'adozione delle tecnologie *computer based* nei processi produttivi.

Obiettivo del Capitolo è quello di illustrare nei suoi aspetti qualitativi e quantitativi gli effetti che la diffusione raggiunta dall'AF all'inizio del 1989 ha comportato per la forza lavoro nell'industria metalmeccanica in Italia.

Ai fini di consentire l'approfondimento della reale portata delle trasformazioni indotte dalle tecnologie *computer based* sui profili professionali degli addetti nel comparto metalmeccanico, nonché di giungere a valutare quantitativamente l'effetto di spiazzamento della forza lavoro diretta associato alla diffusione di tali tecnologie, la ricerca ha richiesto lo sviluppo di tre distinte fasi d'indagine.

La prima parte della ricerca, volta alla comprensione degli effetti indotti dall'AF sui profili professionali, ha visto l'approfondimento «sul campo» di alcune delle esperienze più significative, sia all'interno della sfera progettuale che di quella produttiva, maturate da imprese italiane dell'industria metalmeccanica. Complessivamente sono state selezionate 12 imprese, in modo da rispecchiare nelle sue componenti essenziali (metallurgica, meccanica, elettromeccanica, elettrico-elettronica, meccanica strumentale) tutte le principali matrici tecnologiche dell'industria metalmeccanica. Le esperienze delle imprese sono quindi state analizzate, ricorrendo alla tecnica degli *studi di caso*.

Alla seconda fase dell'indagine è spettato il compito di individuare e determinare il valore dei «coefficienti di spiazzamento» della forza lavoro da associare all'adozione delle diverse configurazioni di AF. A tal fine, avvalendosi di un questionario postale e di interviste telefoniche, sono state analizzate le caratteristiche strutturali e le relative performance produttive di oltre 280 applicazioni di AF in produzione — fra sistemi integrati e singoli robot e *machining center* — adottate da 106 imprese dell'industria metalmeccanica.

All'ultima fase è spettato quindi il compito di quantificare l'impatto delle tecnologie *computer based* sui livelli occupazionali. Avvalendosi dei coefficienti di spiazzamento e dei dati sulla diffusione dell'AF nell'industria metalmeccanica presentati

nel Capitolo Secondo, la ricerca ha potuto ricostruire un quadro articolato della «disoccupazione tecnologica» indotta dalle nuove tecnologie di processo.

L'illustrazione dei risultati conseguiti si articola in più paragrafi.

Il paragrafo 2 è dedicato allo studio delle trasformazioni dei profili professionali legate all'adozione delle tecnologie *computer based*. La varietà delle soluzioni di AF e delle loro applicazioni trova riscontro nell'articolazione degli effetti indotti. Al fine di rispecchiare tale articolazione il paragrafo argomenta disgiuntamente le conseguenze dell'introduzione delle nuove tecnologie rilevate nella sfera progettuale da quelle osservate nella sfera produttiva.

Il paragrafo 3, dedicato alla valutazione quantitativa dell'impatto occupazionale della diffusione dell'AF in produzione, consente di evidenziare il ruolo svolto, rispettivamente, dai *sistemi integrati* — a CN ed a CND[1] — e dai macchinari *stand alone* — robot e *machining center*. Il paragrafo, dopo aver illustrato l'approccio metodologico adottato e le relative problematiche, presenta e commenta i risultati dell'analisi svolta. In tal senso, vengono illustrati i dati dello «spiazzamento» di addetti diretti in produzione dovuto alla diffusione raggiunta dall'AF all'inizio del 1989 e l'incidenza che tale fenomeno ha assunto per le sole imprese adottatrici delle nuove tecnologie di processo, nonché per l'occupazione complessiva del comparto metalmeccanico e per la sua componente operaia. Il paragrafo si conclude con l'analisi dello «spiazzamento tecnologico» della forza lavoro indotto a livello delle singole classi dimensionali e dei settori di attività delle imprese.

A conclusione del Capitolo, il paragrafo 4 sintetizza le principali considerazioni emerse dalla ricerca sull'effetto *labour saving* dell'AF e sulla sua capacità di motivare l'adozione delle tecnologie *computer based*.

2. *L'automazione e gli* skills *produttivi*

Quali conoscenze e quali *skills* vengono richiesti alla forza lavoro dalle nuove tecnologie di produzione *computer based*?

Quali trasformazioni comporta per i profili professionali l'introduzione dell'AF? E, conseguentemente, quali mutamenti inducono tali innovazioni di processo nel tessuto organizzativo di un'impresa?

Il dibattito sviluppato intorno agli interrogativi posti dalla diffusione delle nuove tecnologie di produzione è tanto articolato e ricco di sfumature quanto varie risultano le motivazioni per l'adozione dell'AF e diversi gli approcci che governano tale scelta.

Premessa del dibattito è il riconoscimento che i mutamenti indotti dall'adozione dell'AF investono in termini rilevanti l'attività di gran parte della forza lavoro, sia diretta che indiretta. L'evoluzione degli *skills* associati ai profili professionali, imposta dall'AF, si traduce nel sostanziale cambiamento dei tradizionali parametri di valutazione della professionalità. I requisiti di base richiesti agli addetti dalle tecnologie *computer based* comportano la progressiva marginalizzazione delle abilità manuali a favore dello sviluppo/riscontro di maggiori capacità logiche, simboliche, di astrazione, di rappresentazione mentale del processo produttivo (Butera, 1988). Inoltre, in ragione della diffusione dell'AF, la composizione della forza lavoro subisce significative modifiche. La riduzione dell'incidenza numerica dei «colletti blu» nelle imprese, e la contestuale crescita del peso delle figure che operano a monte della produzione — prevalentemente nella sfera della progettazione — divengono i tratti più caratteristici di tali trasformazioni[2].

A partire da questa comune premessa la letteratura diverge profondamente in merito alle conseguenze che i nuovi requisiti richiesti dalle tecnologie *computer based* comportano per i profili professionali. Assumendo una concezione di sviluppo culturale, non sempre chiaramente esplicitata, incentrata sulla supremazia delle capacità intellettuali nei confronti degli *skills* manuali/artigianali, diversi contributi giungono a sostenere posizioni antitetiche. I requisiti culturali richiesti dall'AF divengono, di volta in volta, sinonimo di generalizzata riqualificazione della forza lavoro o, alternativamente, strumento di

progressiva separazione degli addetti in due gruppi distinti, da un lato, i detentori delle nuove competenze e, dall'altro, il personale dequalificato.

Nel primo caso l'AF diviene lo strumento per contrastare l'impoverimento e la banalizzazione del lavoro, consentendo al lavoratore di trasformare radicalmente i caratteri del proprio contributo al processo produttivo. Secondo tale approccio «post-industriale», l'*Information Technology* in generale ed il controllo numerico in particolare costituiscono lo strumento dello *skill-upgrading* dell'operatore, e della sua emancipazione nel senso di recupero delle valenze «artigiane» [3] (Piore e Sabel, 1984). In altri termini, grazie al calcolatore l'uomo tornerebbe a controllare il lavoro svolto dalle macchine.

Nel secondo caso le tecnologie *computer based* comporterebbero un sostanziale *deskilling* degli addetti diretti a favore, anche, di una crescente discrezionalità dei managers. Il taylorismo «tecnologico» che sottende a tale approccio vede nell'AF lo strumento per accentuare, all'interno dei processi produttivi, la separazione fra i compiti di pianificazione-progettazione-controllo, che spettano a manager e tecnici, e quelli operativi, ove, in particolare, l'importanza ed il numero dei «colletti blu» richiesti si riducono drasticamente con l'estendersi delle potenzialità delle nuove tecnologie di processo. Alla progressiva internalizzazione degli *skills* umani da parte dell'AF, corrisponderebbe lo spostamento dell'«intelligenza» del sistema in direzione dei livelli superiori della gerarchia dell'impresa.

A riproporre indefinitamente l'interrogativo sugli effetti indotti dalle tecnologie *computer based* sulla professionalità della forza lavoro e, forse, a mantenerlo teoricamente senza risposta è l'implicita ambiguità che porta ad identificare, in senso stretto, il paradigma dell'AF con le singole diverse traiettorie tecnologiche che da quest'ultimo traggono origine, nonché a trascurarne la specificità delle applicazioni in ragione sia delle *sfere di attività* coinvolte che della struttura organizzativo/gestionale investita.

Se si escludono fraintendimenti concettuali — quali assumere come evoluzione del contenuto professionale il miglioramento delle condizioni di lavoro, associato alla progressiva elimina-

zione dei lavori più ripetitivi, completamente prescritti e nocivi — il quesito sull'impatto dell'AF sui profili professionali può più correttamente essere interpretato alla luce della comprensione dei caratteri che, di volta in volta, assume il rapporto uomo-macchina in relazione alla specifica tecnologia *computer based* adottata ed al contesto organizzativo/gestionale in cui quest'ultima viene inserita. Tale spostamento prospettico consente di rendere più espliciti i legami con il secondo oggetto del dibattito, i cui termini, spesso più ideologici che reali, rimandano all'annoso problema dell'impiego della risorsa umana nei processi produttivi. Se sia cioè più efficiente motivare/coinvolgere gli addetti a tutti i livelli — si pensi esemplificativamente all'ormai famoso modello giapponese — e potenziarne la discrezionalità operativa ai fini dell'ipotetico conseguimento della massima flessibilità produttiva, come sostenuto da Piore e Sabel e dagli autori che si rifanno alle tesi post-industriali, o se, di converso, risulti più viabile per l'impresa e, in ultima istanza, più efficace sfruttare le potenzialità delle tecnologie *computer based* nonché dell'informatica per trasferire verso l'alto i nuovi *skills* richiesti dall'AF e, quindi, tentare di cogliere tutte le possibili sinergie offerte dall'integrazione flessibile.

Il rilievo del verso assunto dal rapporto di subordinazione fra macchina e operatore per ogni configurazione tecnologica della prima e qualifica professionale del secondo, può già di per sé contribuire a risolvere, almeno a livello contingente, gli elementi di ambiguità che sembrano dar ragione dell'«articolazione» del dibattito sopra richiamato, ove alla tesi dello *skill-upgrading* dell'operatore si contrappone la visione neotayloristica del sostanziale *deskilling* degli addetti diretti.

Le implicazioni, anche a livello di relazioni industriali, sono evidenti. L'importanza attribuita al ruolo svolto dalla forza lavoro finisce per rispecchiarsi nell'approccio seguito per adottare le diverse soluzioni di AF. La scelta di centralizzare le decisioni ed il controllo, contrapposta a quella di ampliare o, comunque, ridisegnare le deleghe all'interno dell'organizzazione, ripropone l'interrogativo se spetti al fattore tecnologico

od a quello organizzativo il ruolo di forza guida nella ricerca degli strumenti da adottare per conseguire livelli crescenti di competitività nelle attività produttive.

Appare a questo punto evidente come generalizzazioni sul ruolo svolto dall'AF nel trasformare e creare — o, viceversa, eliminare — profili professionali risultino notevolemente arrischiate, rispecchiando il più delle volte le potenzialità specifiche delle singole configurazioni tecnologiche o, in termini altrettano distorcenti, filosofie ed approcci organizzativi e gestionali emersi da casi circoscritti. In tal senso, la prima parte dell'indagine, incentrata sull'analisi approfondita delle esperienze cumulate da 12 imprese italiane, fornisce un quadro articolato, ove è sovente possibile evidenziare il nesso che lega l'introduzione delle singole configurazioni tecnologiche alla filosofia che ha guidato l'impresa nel processo di adozione.

Il duplice obiettivo di non «appiattire» quanto emerso dalla prima parte dell'indagine e, conseguentemente, di salvaguardare l'articolazione del ventaglio di situazioni rilevate, induce quindi a distinguere inizialmente le conseguenze dell'adozione delle tecnologie *computer based* fra le applicazioni nelle sfere progettuale e produttiva e, successivamente, ad evidenziare all'interno di queste ultime l'impatto sui profili professionali indotto dalle diverse configurazioni tecnologiche ed organizzative.

Lo skill-upgrading *dei profili professionali nella sfera della progettazione*

Il Capitolo Secondo ha posto in evidenza come le tecnologie *computer based* impiegate nella sfera progettuale e di interfaccia con la produzione abbiano raggiunto una vasta diffusione nell'industria metalmeccanica italiana. Paradossalmente alla consistente penetrazione di CAD, CAM e CAD/CAM nelle imprese italiane non corrisponde un quadro chiaro ed esaustivo degli effetti indotti dalle tecnologie *computer aided* sulla professionalità dei progettisti/disegnatori e sull'organizzazione della loro attività.

Le ragioni di tale anomala situazione possono essere ricondotte al concorrere di alcuni fattori:

i. le caratteristiche intrinseche delle tecnologie *computer aided* e la loro evoluzione. Infatti, a differenza di quanto avviene per le forme di AF impiegate nella sfera produttiva, che devono forzatamente coniugare una componente meccanica ed una microelettronica, i CAD, i CAM ed i CAD/CAM sono eminentemente il risultato della sola tecnologia informatica. L'elemento caratterizzante e discriminante delle prestazioni delle tecnologie *computer aided* è in tal senso rappresentato dalla componente software. Se, da un lato, ciò implica che la complessità di determinati *packages* richiede configurazioni hardware ad essi dedicate, dall'altro, lascia intuire come i «pacchetti di programmi» meno sofisticati, il cui costo è estremamente contenuto, possono girare anche su dei semplici personal computer[4];

ii. le peculiarità dell'industria metalmeccanica italiana. Il tessuto industriale italiano, «strutturalmente» povero di imprese di medio-grandi dimensioni, vede in particolare accentuarsi tale carenza nei settori che hanno trainato internazionalmente lo sviluppo delle tecnologie *computer aided*, quali aerospazio ed elettronica;

iii. la limitata diffusione di strutture stabili di progettazione-/disegnazione. La maggior parte delle applicazioni di CAD coinvolgono imprese ove l'attività di progettazione/disegnazione è il più delle volte solo parzialmente strutturata o, addirittura, costituisce un fenomeno episodico. L'adozione delle tecnologie *computer aided*, rispondendo ad un'attività non continuativa, risulta generalmente circoscritta alle soluzioni meno sofisticate che non impongono da un punto di vista economico la saturazione del loro tempo di utilizzo. In questi casi è difficile parlare di trasformazioni dei profili professionali in quanto le attività del personale coinvolto sono solo parzialmente influenzate dalle tecnologie *computer aided*.

Se, da un lato, i costi contenuti dei *packages* meno sofisticati, il cui ammortamento non condiziona certamente le scelte

dell'impresa, nonché il loro sfruttamento parziale, argomentano la mancata percezione dei possibili mutamenti nei profili professionali dei neo-operatori, dall'altro, diviene evidente come l'analizzare gli effetti indotti dalle tecnologie *computer aided* sulla forza lavoro nelle imprese italiane significhi, in realtà, investigare principalmente le applicazioni più rilevanti, quelle cioè ove l'introduzione del CAD impatta su un'attività strutturata di progettazione/disegnazione.

I riscontri dell'indagine, pur nei limiti della loro generalizzabilità, evidenziano come effetti riconducibili al *deskilling* degli operatori risultino circoscritti a situazioni particolari, mentre, più in generale, prevalga lo *skill-upgrading* degli addetti alle tecnologie *computer aided*.

Per quanto concerne il primo approccio, la tesi dell'intensificazione del controllo da parte del management sull'operato dei disegnatori tramite il CAD che acquisisce l'abilità di questi ultimi (Braverman, 1974) o, in termini più generali, l'ipotesi del *deskilling* dei disegnatori associata all'adozione delle tecnologie *computer aided* (Cooley, 1981), trovano parziale conferma solo in un caso, ove l'impresa adottatrice impiega la tecnologia informatica per «cristallizzare» la propria struttura gerarchica.

È interessante notare come nel caso di System, un'impresa specializzata nella progettazione e produzione di impianti e macchinari per l'industria della ceramica, l'applicazione del CAD, dovendo costituire un elemento di «continuità col passato», rispecchi sia l'esperienza precedentemente cumulata dall'impresa sia l'approccio da essa adottato e, conseguentemente, la soluzione tecnologica introdotta. Pur introducendo in tempi successivi due diversi sistemi CAD a due dimensioni, l'impresa non evidenzia alcuna trasformazione nella propria organizzazione del lavoro. In tal senso, System, la cui struttura di progettazione si articola su tre livelli — (a) coordinatori e responsabili del progetto; (b) progettisti; (c) «particolaristi», cioè disegnatori dedicati allo sviluppo dei particolari — introduce inizialmente configurazioni CAD destinate alla sola disegnazione, ponendosi il duplice obiettivo di migliorare e standardizzare la qualità dell'output dei «particolaristi», cioè del personale coinvolto nelle fasi meno nobili del processo di

progettazione/disegnazione, e di mantenere inalterata la struttura gerarchica della propria organizzazione. Anche con l'adozione successiva di un nuovo sistema CAD, destinato in questo caso ai progettisti, l'impresa conserva il proprio approccio iniziale. Da un lato, la nuova adozione non rimuove la separazione gerarchica fra il livello superiore dei progettisti e quello inferiore dei particolaristi e, dall'altro, viene impiegata per omogeneizzare il bagaglio di conoscenze e competenze dei progettisti attraverso una sorta di rotazione sui progetti, resa possibile dall'accesso al *database* comune del sistema *computer aided*.

Per quanto concerne l'analisi delle altre applicazioni di tecnologie *computer aided*, è sempre emersa — e, in particolare modo per le configurazioni più sofisticate, quali le soluzioni a tre dimensioni o quelle integrate CAD/CAM — una significativa crescita della professionalità degli operatori, sia che lo *skill-upgrading* di questi ultimi venga inteso come sviluppo di competenze appartenenti a fasi a monte o, viceversa, di quelle a valle dell'attività da loro svolta. L'esempio forse più emblematico fra quelli rilevati dall'indagine sul campo è fornito da Aermacchi e riguarda l'impiego del CAD a tre dimensioni nell'industria aerospaziale. In questo caso il CAD offre ai progettisti la possibilità di simulare il variare dell'assetto di volo e, quindi, di giungere a definire la struttura ottimale dei serbatoi alari.

Sempre in termini di arricchimento della sfera di competenze, va del resto interpretata anche l'acquisizione di quelle conoscenze che, nel passato, costituivano il patrimonio degli operatori in produzione. «Progettare in funzione dell'utensile» sintetizza, in tal senso, modalità nuove per concepire l'interrelazione fra sfera progettuale e sfera produttiva che, in virtù delle potenzialità delle tecnologie *computer aided*, trasferiscono al progettista gli strumenti e, quindi, la responsabilità di valutare l'effettiva fattibilità di un bene. Tale valenza del CAD, di primaria importanza nell'industria aerospaziale[5], è risultata enfatizzata anche dall'esperienza di Usag, un'impresa specializzata nella produzione di utensili.

Nella produzione di utensili, l'adozione di CAD e CAM ha comportato un'estensione della sfera di competenze dei tecnici progettisti che è coincisa con la scomparsa della figura del modellista, intermedia fra progettazione e produzione[6]. In questo caso la lavorazione di «modelli» finalizzati al conseguimento degli stampi necessari alla fabbricazione degli utensili è resa superflua dalla capacità del CAD/CAM di progettare e sviluppare il programma utile alla produzione diretta degli stampi per mezzo di macchine utensili a controllo numerico.

Sul tema della qualificazione professionale dei progettisti un'annotazione specifica merita l'esperienza maturata da Telettra, una delle maggiori imprese italiane di telecomunicazioni. La specificità del caso risiede non tanto nell'evoluzione delle competenze richieste al progettista, principalmente influenzate dall'evoluzione tecnologica del settore[7], quanto nei tempi necessari a formarne il profilo tecnico. L'esperienza dell'impresa evidenzia come le tecnologie *computer aided* abbiano consentito di ridurre drasticamente il tempo precedentemente necessario alla completa formazione del progettista.

Un incremento delle competenze «imposto» dalle tecnologie *computer aided*, che loro malgrado prescinde dagli approcci seguiti dalle imprese, è quello che investe il profilo professionale di chi gestisce le strutture di progettazione/disegnazione. In questo caso l'omogeneità dei riscontri forniti dalla ricerca è praticamente assoluta ed indica nella riqualificazione del management di tali funzioni uno dei problemi maggiori associati all'introduzione delle tecnologie *computer aided*. Per i manager l'adozione delle nuove tecnologie comporta la capacità, spesso non preventivata, di saper rivedere in termini materiali ed immateriali l'output della struttura di cui sono responsabili, e non, come «più semplicemente» avviene per gli operatori, di sostituire matita e tecnigrafo con *mouse* e video. Il salto culturale imposto è notevole, sia perché richiede di pensare l'output della propria struttura in funzione dei suoi possibili impieghi a valle e, conseguentemente, di valutare in base a nuovi criteri le performances dei propri progettisti, sia perché comporta il ripensare il proprio ruolo nell'organizzazione. L'«autorevolezza» da competenze, generalmente associata

al livello gerarchico, poggiando sull'esperienza maturata nell'attività tradizionale, si svuota di contenuti effettivi quando trasposta automaticamente alla gestione delle tecnologia *computer aided*[8]. L'errore principale consiste in questo caso nel considerare identici i prodotti dell'attività al tecnigrafo e di quella svolta al terminale CAD. Nel primo caso, il prodotto è un disegno tecnico corredato dalle «quote» che lo rendono intelleggibile agli operatori delle fasi successive; nel secondo caso l'output è costituito da un modello matematico, di cui la rappresentazione grafica è solo uno degli aspetti e certamente non fra i più importanti.

L'implicita difficoltà del gestire contemporaneamente strutture con output diversi costituisce, inoltre, uno dei presupposti di un altro fenomeno rilevato dall'indagine e già evidenziato dalla letteratura, cioè la riorganizzazione dell'attività di progettazione/disegnazione, cui consegue la separazione delle attività svolte con le nuove tecnologie e quelle basate sugli strumenti tradizionali. In tal senso, l'introduzione del doppio turno per le attività di progettazione svolte al CAD, offre la riprova forse più eloquente della riorganizzazione delle attività di disegnazione richiesta dalla tecnologie *computer aided*. Del resto il doppio turno di lavoro costituisce la soluzione più viabile per conciliare le nuove esigenze organizzative delle tecnologie *computer aided* con il maggior livello di immobilizzo di capitale da esse richiesto.

Nel complesso il riscontro delle «singole verità» fornite dalla ricerca mostra come, rispetto al dibattito sugli effetti indotti dalle tecnologie *computer aided* sui profili professionali, prevalga l'orientamento ad ampliare le competenze degli operatori della sfera progettuale piuttosto che non quello opposto volto a svilirne i contenuti. In particolare, la tendenza a trasferire al progettista, incorporandoli nello strumento tecnologico, parte degli *skills* tradizionalmente detenuti dagli operatori alle macchine utensili, assume un rilievo del tutto specifico in relazione sia alla riscontrata generalizzazione di tale orientamento sia per gli speculari quesiti che ripropone sugli effetti dell'adozione delle tecnologie *computer based* in produzione.

Dequalificazione vs. *qualificazione dei profili professionali nella sfera della produzione*

L'applicazione delle tecnologie microelettroniche ed informatiche nella sfera produttiva e la conseguente diffusione dei loro rudimenti, hanno generato la coniazione di nuovi termini quali «meccatronico», «manutentore», «conduttore», ecc., col risultato di indurre convinzioni non sempre corrette sulle relazioni di sostituzione/evoluzione che legherebbero queste nuove figure ai tradizionali operai, qualificati e non. Nella realtà l'impatto dell'AF sulla professionalità di chi opera in produzione ripropone, in termini forse più radicali di quelli rilevati per la progettazione, gli stessi interrogativi sul processo di qualificazione/dequalificazione degli addetti coinvolti.

La radicalità degli effetti indotti dalle *tecnologie computer based* accomuna sia la tesi del *deskilling* degli addetti (Braverman, 1974; Noble 1979 e 1984) sia quella opposta dello *skill-upgrading* (Piore e Sabel, 1984; Sorge et al., 1983). Le ragioni di ciò appaiono immediatamente chiare quando si consideri come:

- nel caso della tesi della riqualificazione, l'introduzione dell'AF corrisponda all'inversione del processo che storicamente ha visto il progressivo affermarsi dei metodi di produzione industriali a scapito di quelli «artigianali»[9];
- nel caso della ipotesi di dequalificazione, l'avvento delle tecnologie *computer based* coincida con uno degli ultimi passi, se non l'ultimo, della progressiva internalizzazione da parte della macchina delle capacità umane dell'operatore[10].

In termini strettamente tecnologici la capacità dell'AF di essere programmata, di volta in volta, e di acquisire una sorta di «intelligenza informatica» costituisce l'elemento che, oggetto del contendere, supporta entrambe le tesi. L'ambiguità di tale situazione, più apparente che reale, trova spiegazione nell'evoluzione delle tecnologie *computer based* e, in particolare, nell'affermazione delle macchine a controllo numerico computerizzato (CNC), la cui «intelligenza» consente agli operatori sia di intervenire sul programma di lavoro, modificandolo secondo

esigenze, sia, almeno teoricamente, di programmare direttamente il nuovo ciclo di operazioni. Se risulta evidente che la potenziale programmabilità delle macchine a CNC si svuota di contenuto reale ogniqualvolta queste ultime vengono integrate fra loro e coordinate da un altro calcolatore per dar vita ad un sistema di AF, altrettanto poco efficiente appare, nel caso delle configurazioni *stand alone*, la scelta di sviluppare nuovi *part programs* di lavorazione operando direttamente tramite l'interfaccia informatico di cui queste ultime dispongono. In tal senso, è utile ricordare come, da un lato, la disponibilità di CAD e CAM offra l'opportunità di ottenere direttamente i programmi informatici da impiegare sulle macchine a CNC, determinando di fatto una duplicazione delle competenze e delle risorse immateriali impiegate; dall'altro, le competenze richieste per lo sviluppo dei programmi risultino sottoutilizzate nel caso l'operatore debba farsi carico anche di compiti con valore aggiunto consistentemente inferiore, quali il monitoraggio della macchina ed il suo carico/scarico.

L'intelligenza incorporata nelle tecnologie *computer based*, nonché la sua programmabilità pongono quindi in evidenza non tanto l'opinabile riqualificazione dell'operatore alla macchina utensile, quanto la criticità del ruolo di chi predispone (e non corregge semplicemente) i «programmi» destinati al singolo CNC o al sistema di AF. Criticità che diviene ancor più evidente quanto più il processo produttivo si integra a monte con quello progettuale[11].

I riscontri forniti dalle applicazioni delle imprese italiane studiate evidenziano, seppure in forma articolata, come le forti trasformazioni indotte dall'impiego delle tecnologie *computer based* nella sfera produttiva comportino il tendenziale *deskilling* degli addetti diretti. La comune convergenza mostrata dalle singole realtà analizzate verso una dequalificazione reale degli addetti diretti, il cui ruolo viene ridimensionato a favore del crescente rilievo assunto dalla figura del «programmatore», è in tal senso significativa. Pur escludendo le applicazioni dei sistemi di AF per la lavorazione, ove il ruolo degli addetti diretti è riconducibile in modo più esplicito alle operazioni di *maintenance* e di approvvigionamento del sistema, anche nel caso delle

macchine *stand alone* a CNC la professionalità degli addetti diretti, apparentemente accresciuta dalla possibilità di «correggere» i *part programs* della macchina, risulta nella realtà ridimensionata[12]. Emblematico il caso di Aermacchi, ove non solo lo sviluppo dei programmi per le macchine a CNC viene fatto dai tecnici informatici, ma anche le correzioni ad essi apportati risultano appannaggio dei tecnici. La trasformazione del profilo professionale degli addetti diretti che ha accompagnato l'introduzione delle macchine a CN e di quelle a CNC rende ancor più evidente la «polarizzazione» che connota le competenze richieste a questi ultimi ed ai tecnici informatici. Infatti, all'interno dell'impresa:

i. con l'introduzione delle macchine a controllo numerico viene definito un nuovo percorso di carriera per gli addetti a queste ultime che, al suo culmine, consente il conseguimento del «quinto livello», a fronte del «settimo livello» riconosciuto agli addetti alle macchine utensili tradizionali. Evidente l'esplicita dequalificazione associata all'impiego delle nuove macchine a controllo numerico ed il conseguente implicito rilievo dato al tecnico informatico;

ii. successivamente, ed in ragione delle pressioni sindacali, viene riconosciuta anche agli addetti alle macchine operatrici a controllo numerico la possibilità di conseguire il settimo livello, equiparandone la carriera a quella di chi opera su quelle tradizionali. Agli operatori dei macchinari *stand alone* di AF viene riconosciuta l'acquisizione delle nuove competenze atte a consentire le modifiche dei *part programs* tramite il calcolatore posto a bordo macchina;

iii. il carattere pretestuoso della motivazione risulta esplicito quando si consideri l'introduzione di una contemporanea norma interna che impone, per qualsiasi modifica da apportare ai programmi, l'intervento dei tecnici informatici o, comunque, la presenza di questi ultimi nel caso l'operazione sia delegata agli addetti diretti.

Gli esempi di applicazioni forniti dalle imprese degli altri settori non si discostano da tale approccio.

Nel caso dell'industria delle macchine tessili l'adozione di sistemi flessibili di lavorazione ha comportato analoghe polarizzazioni delle competenze, sebbene le scelte organizzative adottate dalle due imprese studiate — Somet e Marzoli — evidenzino soluzioni diverse.

Per quanto concerne Somet l'adozione di un sistema flessibile integrato, formato da 6 macchine, che si aggiunge alla preesistente disponibilità di alcuni *machining centers* non integrati, ha comportato la separazione abbastanza netta delle competenze. In particolare, ad un responsabile della linea ed a 2 tecnici, che assommano alle competenze informatiche le esperienze meccaniche maturate nel tempo, fanno riscontro 4 addetti delegati al carico/scarico del sistema flessibile e delle macchine *stand alone* a CNC. Occorre inoltre rilevare come l'attività delle tecnologie *computer based* considerate venga ripartita su quattro turni giornalieri di 6 ore, ove un turno presidiato si alterna ad uno non presidiato.

Apparentemente meno esplicita l'evoluzione/involuzione dei profili associata all'introduzione in Marzoli di un sistema di AF. Il sistema composto da 4 macchine, che operano su tre turni giornalieri presidiati di 8 ore ciascuno, richiede la presenza di un supervisore e di 2 addetti al carico/scarico. Al primo compete la gestione del sistema — inclusi la rilevazione dei guasti e delle anomalie di funzionamento e, per quei cicli di lavorazione che lo consentano, l'eventuale correzione dei *part programs* — mentre ai secondi spetta la predisposizione dei *pallets* per l'alimentazione del sistema. Nonostante la chiara contrapposizione fra le competenze richieste dalle due mansioni, i 9 addetti al sistema che attualmente ruotano sui tre turni posseggono la competenza del supervisore, che consente loro di alternarsi in tale compito. Le ragioni di tale «sovradimensionamento» delle risorse sono principalmente riconducibili al fatto che gli addetti inizialmente destinati alle sole mansioni di carico/scarico, possedendo un'esperienza sviluppata sulle macchine tradizionali, rifiutavano consciamente/inconsciamente la netta dequalificazione del nuovo ruolo. È di interesse rilevare come anche l'opportunità di divenire «gestore» del nuovo sistema non sia stata ritenuta una motivazione di

riconversione sufficiente dagli addetti alle macchine utensili tradizionali con maggiore esperienza, in quanto il nuovo profilo veniva percepito come dequalificante[13].

Pur non alterando gli effetti generali dell'impatto sui profili degli occupati, le forme di AF legate al montaggio assumono sfumature diverse. In generale la semplicità delle operazioni di montaggio fa sì che qualsiasi ampliamento delle operazioni da svolgere possa configurarsi come una forma di *skill-upgrading*, seppure abbastanza discutibile. Alcuni interventi compiuti da Olivetti nell'ambito della produzione delle macchine da scrivere si prestano in tal senso ad evidenziare i termini di un possibile fraintendimento sulla reale portata del processo di riqualificazione. L'esempio più significativo del reale miglioramento delle condizioni di lavoro e della forse enfatizzata riqualificazione degli addetti è rappresentato dall'automazione della fase finale di imballaggio del prodotto finito. L'operazione di imballaggio tradizionalmente svolta manualmente da operai del terzo livello è stata automatizzata. La gestione della linea di imballaggio automatizzata prevede la presenza di un addetto con la qualifica di quinto livello cui, in particolare, competono in ragione dei nuovi compiti richiesti l'avviamento delle macchine e solo i piccoli interventi correnti di manutenzione. Per quanto riguarda infatti gli interventi di manutenzione più significativi, questi ultimi sono rimasti appannaggio degli specialisti che, data la difficoltà di una loro formazione all'interno dell'impresa, hanno dovuto essere reperiti sul mercato esterno.

Più articolato il quadro offerto da Telettra ove i processi di automazione delle attività nella sfera produttiva si inseriscono in un più ampio disegno di sviluppo del CIM. In questo caso l'automazione, intesa come soluzione volta a sostituire l'uomo nelle attività «strutturabili»[14], induce una particolare polarizzazione delle competenze richieste agli addetti: all'estremo superiore si ha lo sviluppo degli «specialisti»; all'estremo inferiore quello degli addetti «polivalenti» cui, in particolare, spetta il compito di alimentare il processo produttivo.

Lo sviluppo della polivalenza costituisce in questa sede l'effetto di maggior interesse fra quelli indotti dalle tecnologie

computer based in quanto si presta anche a possibili forme di *skill-upgrading* degli addetti coinvolti. In tal senso, nel caso di Telettra, pur rappresentando anche al suo interno un fenomeno circoscritto solo ad alcune delle fasi automatizzate, occorre rilevare alcuni chiari esempi di impiego «qualificato» della forza lavoro. Basti in questa sede ricordare le conseguenze dell'automazione delle fasi di collaudo elettrico, ove le tecnologie computer based sollevano l'addetto dal compito di rilevare anomalie e difetti sistematici, consentendogli di orientare la propria attenzione all'identificazione dei guasti più complessi, nonché alla loro riparazione.

Il prevalere in produzione degli effetti di *deskilling* per gli addetti diretti emerge, del resto, anche da altre indagini svolte a livello internazionale. L'appropriazione degli *skills* degli operatori da parte della macchina, sostanzialmente evidenziata dall'analisi delle esperienze delle imprese italiane studiate, trova in tal senso conforto anche nelle verifiche empiriche condotte negli Stati Uniti (Kelley e Brooks, 1988) ed in Francia (Hollard e Margirier, 1987).

Nel caso dell'industria metalmeccanica statunitense Kelley e Brooks (1988), analizzando le caratteristiche della diffusione delle tecnologie dell'AF e, in particolare, delle macchine utensili a CN ed a CNC, giungono alla conclusione che non vi sia evidenza empirica di un reale *upgrading* degli *skills* degli operatori. Inoltre, a partire da tale rilievo, i due ricercatori statunitensi possono quindi affermare come la più generale tesi di un'evoluzione del modello industriale della produzione di massa verso quello della «specializzazione flessibile» (Piore e Sabel, 1984) non trovi significativi riscontri nella realtà.

Ancor più esplicite sono le evidenze fornite da Hollard e Margirier (1987). Lo studio approfondito di 17 casi di applicazione di sistemi di automazione in imprese francesi mette in evidenza come la programmazione in senso stretto rimanga sempre appannaggio unico dei programmatori e come, inoltre, solo in 4 casi (cioè il 23% di quelli considerati) la correzione dei *part programs* sia delegata agli addetti alle macchine a CNC.

3. *L'impatto dell'automazione flessibile sull'occupazione nell'industria metalmeccanica*

Il quadro precedentemente illustrato degli effetti indotti dall'AF sui profili professionali della forza lavoro ha evidenziato elementi di significativa differenziazione in ragione delle sfere di attività considerate. La «complementarità» rilevata fra le variazioni delle competenze richieste in progettazione ed in produzione suggerisce come ciò possa tradursi, anche a livello quantitativo, in un altrettanto significativo differenziale di impatto sull'occupazione delle due sfere di attività. La conseguente scelta di analizzare disgiuntamente gli effetti indotti dall'AF nelle due sfere di attività trova, inoltre, ulteriore conferma nella specificità delle tecnologie *computer based* peculiari alla progettazione ed alla produzione, che richiede l'uso di metodologie diverse per la valutazione degli effetti rispettivamente determinati sull'occupazione.

In particolare, per quanto concerne la sfera produttiva è stato possibile giungere a quantificare lo «spiazzamento» di addetti diretti indotto nell'industria metalmeccanica dall'adozione dell'AF, mentre per quanto riguarda la sfera progettuale, data l'impossibilità di individuare effetti generalizzabili per l'occupazione, si è optato per la rilevazione dell'impatto associato all'adozione delle tecnologie *computer aided* nelle sole imprese studiate. Più specificatamente le ragioni di quest'ultima scelta — intuibili se si considera quanto illustrato in relazione agli effetti indotti dalle tecnologie *computer aided* sui profili professionali — possono essere ricondotte a:

- la distorsione nella valutazione dell'impatto occupazionale a livello settoriale indotta dalla notevole diffusione di cui sono stati oggetto i programmi CAD più semplici ed economici che, apparentemente, hanno trasformato dei normali personal computer in altrettanti sofisticati strumenti di progettazione. A testimonianza dell'opinabilità dell'eventuale assunzione di equivalenza fra le varie configurazioni delle tecnologie *computer aided*, è sufficiente segnalare come generalmente tali soluzioni tecnologiche rispecchino un impiego episodico, legato alla mancanza nelle imprese considerate di una strutturazione

formale delle attività di progettazione/disegnazione e, in tal senso, costituiscano solo una parte delle mansioni di competenza dei tecnici coinvolti;
- il grado di integrazione fra le fasi interne alla sfera progettuale associato alle diverse configurazioni *computer aided*. In tal senso, se risulta complesso valutare la produttività conseguibile in ogni singola fase (progettazione, disegnazione, produzione di *part programs*), ancor più problematico risulta determinarne l'incremento complessivo e, conseguentemente, la definizione dei coefficienti di spiazzamento da associare ai singoli profili professionali coinvolti.

Il fattore che, comunque, meglio argomenta sia l'analisi disgiunta dell'impatto occupazionale dell'AF nelle due sfere di attività sia la scelta della sola rapresentazione «emblematica» degli effetti *labour saving* per la progettazione, è fornita dalla profonda differenza dimensionale del *displacement* complessivo di addetti registrato nelle due aree dell'impresa. Il tal senso, il rilievo del come la disoccupazione «tecnologica» indotta in produzione dalle tecnologie *computer based* sia, perlomeno, di un ordine di grandezza superiore a quella relativa alla sfera progettuale, giustifica ampiamente la scelta di illustrare entrambi i fenomeni ricorrendo ad approcci differenti.

Incremento della produttività vs. *disoccupazione tecnologica nella sfera della progettazione*

La mancanza di una reale percezione degli effetti *labour saving* associabili all'adozione delle tecnologie *computer aided* costituisce, paradossalmente, il dato più rilevante emerso dall'indagine sul campo. Le imprese visitate hanno in genere enfatizzato come le motivazioni principali addotte all'adozione dei vari CAD e CAM andassero ricercate nei vantaggi «strategici» acquisibili tramite lo strumento tecnologico più che non nello spiazzamento della forza lavoro o nella sua accresciuta produttività.

Il quadro che emerge dalle esperienze analizzate presenta

quindi l'adozione delle tecnologie *computer aided* come generalmente dovuta all'esigenza di fronteggiare un'evoluzione del settore altrimenti non più sostenibile. Il supporto dato dal calcolatore nello sviluppo di un circuito integrato, nella progettazione della struttura di un serbatoio alare o, anche, nella «più semplice» modellizzazione degli utensili normalmente impiegati per le lavorazioni meccaniche, diviene presupposto della continuità della vita dell'impresa introducendo, al contempo, una radicale trasformazione di ciò che costituisce l'output della progettazione/disegnazione. I termini tradizionalmente impiegati per quantificare/qualificare la produzione del disegnatore-progettista si sfumano al punto da annullarne i contorni. Come evidenziato precedentemente, il prodotto dell'operatore addetto alle tecnologie *computer aided* deve essere ancora il progetto nella sua veste grafica di «disegno» o deve, alternativamente, divenire un modello matematico traducibile, di volta in volta, in programmi di lavorazione per le macchine utensili, in programmi per il *testing* automatico del bene in produzione, nonché anche in un disegno destinato all'archiviazione od al cliente? Ciò che cambia quindi non è tanto la «quantità» di output producibile con l'aiuto delle tecnologie *computer aided*, quanto le sue caratteristiche. All'esplicita richiesta di indicare l'entità della forza lavoro sostituita dalle nuove tecnologie, le esperienze più significative di adozione di CAD, fra quelle investigate, hanno immancabilmente sottolineato la «parzialità» e l'inadeguatezza del quesito.

Le risposte raccolte rispecchiano così definizioni implicite di produttività che le diverse imprese associano all'impiego delle tecnologie *computer aided*. In termini schematici la ricerca ha potuto rilevare come:

- chi confronta la produzione del CAD con quella del tecnigrafo sulla base del numero di disegni di dimensioni standard approntati, qual è il caso di Telettra, abbia riscontrato la superiorità delle performace della prima quantificandola in termini di 4 a 1;

- chi si sofferma sulle singole specifiche «fasi» che compongono la disegnazione, evidenzia la riduzione dei tempi richiesti da quelle «meno creative». Nel settore dell'aerospazio i manager

di Aermacchi hanno quantificato il tempo richiesto per la «tracciatura» tramite CAD pari ad un decimo di quello necessario per la stessa operazione svolta al tecnigrafo;
- chi ha puntato sulla valenza integrativa del CAD/CAM, come nel caso di Usag, ha verificato un chiaro aumento di produttività della forza lavoro, testimoniato dalla scomparsa di un profilo professionale quale quello di chi sviluppava i modelli necessari alla produzione degli stampi;
- chi, infine, valutando la produttività in termini di progetti sviluppabili dal singolo tecnico, ha colto nelle potenzialità del CAD gli estremi per diversificare la propria produzione.

Nel complesso i riscontri delle singole applicazioni evidenziano quindi come anche le tecnologie *computer aided* presentino significativi effetti *labour saving*, la cui percezione rimane però sfumata dal concorrere di altri fenomeni. In tal senso, la «scoperta» delle potenzialità nuove offerte da queste tecnologie si configura come uno stimolo ad ampliarne gli impieghi, traducendosi non infrequentemente in un aumento della forza lavoro ad esse addetta.

Lo spiazzamento di addetti diretti nella sfera della produzione

Premessa metodologica. Il modello adottato per valutare l'impatto occupazionale delle tecnologie *computer based* in produzione è concettualmente basato sull'ipotesi che sia possibile determinare coefficienti di «spiazzamento» degli addetti da associare a macchinari e sistemi di AF e che, quindi, dall'applicazione di tali coefficienti ai valori della diffusione globale delle tecnologie di automazione, si possa ottenere il dato complessivo della disoccupazione «tecnologica» relativa alla sfera della produzione.

Occorre a questo punto precisare come i termini spiazzamento e disoccupazione tecnologica indichino in questa sede solo la dimensione della forza lavoro resa «esuberante» dall'impiego dell'AF e non quella realmente «espulsa» dalle imprese. In altri termini i dati sullo spiazzamento degli addetti presentati

nel seguito non sono meccanicisticamente assimilabili al saldo occupazionale netto. Analogamente, a livello d'impresa, la maggior produttività dell'AF ed il conseguente esubero di addetti non è traducibile nella riduzione dell'organico. A riprova di ciò, Kelley e Brooks (1988) nella loro indagine sulla diffusione delle tecnologie *computer based* nell'industria metalmeccanica statunitense pongono in evidenza come, fra le imprese che sono cresciute in termini di occupati durante gli anni Ottanta, quelle adottatrici delle nuove tecnologie di produzione costituiscano la quota assolutamente maggioritaria.

La semplicità del modello, se ha indotto diversi studiosi ad adottarlo (Attenborough, 1984; Watanabe, 1984), parimenti ha suscitato alcune critiche sull'attendibilità dei risultati conseguiti (Kaplinsky, 1987). Gli elementi che maggiormente possono inficiare la validità del modello sono riconducibili a:

- la generalizzabilità di caratteristiche tecnologiche/occupazionali peculiari a specifiche soluzioni di AF;
- la difficoltà delle rilevazioni condotte su macchinari *stand alone* (macchine a CN od a CNC e robot) di tener conto degli *improvements* associati alla componente intangibile dei sistemi di AF, cioè degli effetti di razionalizzazione connessi con il carattere sistemico di tali tecnologie;
- l'incapacità del modello di cogliere le ripercussioni sull'occupazione a monte ed a valle della configurazione di AF adottata.

Le nuove tecnologie di produzione, a fronte di un effetto *labour saving* — unanimemente riconosciuto a livello di addetti diretti —, comportano la creazione/introduzione nell'impresa di nuove figure professionali che si affiancano/sostituiscono a quelle tradizionali esistenti. L'introduzione del controllo numerico determina la trasformazione dell'operatore tradizionale in «conduttore»; nasce il «meccatronico»; il «manutentore» assume un rilievo affatto nuovo rispetto al passato ed il «produttore» dei programmi informatici diviene una delle figure chiave del nuovo modo di produrre. Se da un lato, il proliferare di nuove figure non appare in grado di controbi-

lanciare gli effetti *labour saving* dell'AF, dall'altro, tale fenomeno può indurre obiettive distorsioni nella valutazione dell'impatto sull'occupazione;
- l'impossibilità dell'approccio micro di tenere in considerazione gli effetti che la maggior produttività delle tecnologie *computer based* induce sull'insieme dell'economia[15] e, quindi, di valutare gli effetti complessivi sull'industria.

Se si esclude l'ultimo aspetto, che costituisce del resto il limite intrinseco di ogni approccio micro, le altre obiezioni di carattere generale al modello possono essere superate — nello specifico — attraverso un significativo sforzo di approfondimento di strumenti e campo d'indagine.

Per quanto concerne il campo d'indagine, la disponibilità di informazioni dettagliate sul ricorso all'AF, nonché sulla struttura, delle imprese aderenti a Federmeccanica, offre un indiscutibile contributo all'attendibilità dei risultati ottenuti.

Inoltre, sempre con riferimento al campo d'indagine, la valutazione dello spiazzamento della forza lavoro è stata circoscritta ai soli addetti diretti. Le informazioni raccolte sulle conseguenze indotte per la restante parte degli addetti dell'impresa sono infatti risultate frammentarie e tali da non fornire un quadro omogeneo del fenomeno. Occorre comunque sottolineare come l'incidenza di tali effetti «complementari», quando rilevati, è risultata abbastanza marginale e tale quindi da non alterare in modo significativo il valore della stima circoscritta alla sola forza lavoro diretta. Le applicazioni nelle imprese dell'industria metalmeccanica analizzate dagli autori hanno evidenziato come gli effetti «compensativi» costituiscano un fenomeno tutt'altro che automatico, risultando inoltre percentualmente molto contenuti e, non infrequentemente, controbilanciati, a propria volta, dalla scomparsa di figure «intermedie» quali quelle legate alla produzione di modelli e prototipi[16]. In particolare, nel caso dei sistemi di AF, siano essi destinati alla lavorazione o all'assemblaggio, i riscontri dell'indagine sono estremamente significativi. A fronte del caso della linea di assemblaggio per le macchine da scrivere, ove sono stati assunti 15 tecnici per la manutenzione e spiazzati complessi-

vamente oltre 250 addetti diretti, la maggior parte delle altre applicazioni ha mostrato una riduzione anche della forza lavoro richiesta per la manutenzione delle nuove tecnologie. Tale fenomeno appare del resto logico quando si consideri che l'introduzione delle tecnologie *computer based* avviene in sostituzione di impianti tradizionali generalmente composti da un numero molto maggiore di macchine. A testimonianza dello scarso rilievo percentuale del fenomeno compensativo considerato è sufficiente rilevare come:

- nel settore della produzione di macchine per il tessile le due applicazioni osservate abbiano mostrato, rispettivamente, nessuna variazione degli addetti alla manutenzione, la prima, e una riduzione del 33%, la seconda;
- nell'assemblaggio di motori elettrici destinati al settore auto, a parità di output, la riduzione di forza lavoro indiretta necessaria è risultata pari al 25%;
- nella lavorazione della carpenteria meccanica destinata al settore delle telecomunicazioni, alla riduzione in termini economici di 360 milioni all'anno del costo del lavoro diretto ne è corrisposta una pari a circa 60 milioni di lire annue anche per le mansioni di manutenzione.

Per quanto concerne gli «strumenti» della ricerca, la determinazione dei coefficienti di spiazzamento ha richiesto lo svolgimento di un'indagine *ad hoc*, costituendo la correttezza di questi ultimi il principale presupposto dell'attendibilità dei risultati dell'approccio adottato. I limiti di attendibilità e di generalizzabilità dei coefficienti ricavati dalle informazioni fornite da singoli produttori di AF o dalla rilevazione di «episodi» di automazione, appaiono del resto espliciti quando si considerino le specificità dell'AF in termini di:

- diversità delle configurazioni. Scontato il distinguo fra macchinari *stand alone* e sistemi integrati di AF, il numero variabile di macchine che compongono questi ultimi nonché il loro diverso grado di intelligenza/flessibilità rende complesso definire un sistema «medio» di riferimento;

- tipologia delle applicazioni. I diversi skills richiesti dalle fasi di lavorazione e di montaggio inducono ad enfatizzare la distinzione fra gli effetti associati alle due applicazioni;
- organizzazione dell'impiego. Il numero di turni giornalieri, presidiati o meno, nonché la durata complessiva dell'impiego dell'AF richiedono una valutazione del tempo reale di utilizzo delle tecnologie *computer based* e non semplicemente il ricorso a dati di performance teorici.

Lo sviluppo dei coefficienti di spiazzamento nel seguito impiegati ha, quindi, richiesto un approccio che potesse scontare gran parte dei problemi richiamati. Per rispondere a tali istanze, si è assunto, quale ipotesi di base, che lo spiazzamento di addetti diretti indotto dai sistemi integrati di AF fosse proporzionale al numero di macchine che compone i sistemi stessi. L'ipotesi di poter associare gli effetti di spiazzamento alle singole macchine — anche per quelle integrate in sistemi — ha così dato origine ad un'estesa indagine volta a raccogliere dati e informazioni su sistemi di AF la cui «omogeneizzazione» tipologica permettesse di definire per via empirica alcuni coefficienti di spiazzamento applicabili alle diverse configurazioni di AF.

La definizione dei coefficienti di spiazzamento degli addetti diretti ha nello specifico richiesto una preliminare disamina analitica delle caratteristiche strutturali e d'impiego delle soluzioni di AF diffuse nella sfera produttiva. In particolare ciò ha significato distinguere fra macchinari *stand alone* e sistemi integrati di AF e, all'interno di questi ultimi, di discernere fra le attività di lavorazione e quelle di montaggio[17]. Ciò ha quindi comportato la determinazione di tre differenti coefficienti di spiazzamento, di cui due riferiti ai sistemi integrati. La distinzione fra le applicazioni in lavorazione ed in montaggio si rende necessaria in quanto il diverso grado di conoscenze/abilità originariamente richieste agli operatori incide sensibilmente nel determinare i tassi di sostituzione della forza lavoro associati all'AF[18].

La successiva fase dell'iter seguito nella determinazione dei tre coefficienti si è avvalsa dei riscontri forniti da un'indagine

postale e telefonica, che ha coinvolto 106 imprese, fra adottatrici di sistemi integrati e di macchinari *stand alone* di AF. Complessivamente sono stati raccolti i dati relativi a 179 fra robot, *machining center* e macchine utensili a CNC non integrati, ed a 110 sistemi di AF, di cui 65 destinati alla fasi di lavorazione e 45 impiegati nelle operazioni di montaggio/assemblaggio[19]. Le informazioni richieste alle imprese concernevano:

- il numero di addetti richiesto da ogni configurazione di AF adottata;
- il numero di addetti richiesto dalle tecnologie impiegate precedentemente all'introduzione dell'AF per eseguire le fasi attualmente svolte da quest'ultima;
- il numero di turni giornalieri in cui le tecnologie *computer based* vengono impiegate con l'indicazione di quelli non presidiati o di quelli che richiedono un diverso numero di addetti diretti;
- nel caso dei sistemi integrati, il numero di macchine che li compongono.

I coefficienti di spiazzamento — relativi a macchinari *stand alone*, sistemi di lavorazione e sistemi di montaggio — da associare alle singole macchine sono quindi stati ottenuti rapportando il valore dell'occupazione complessivamente spiazzata da ognuna delle tipologie di AF considerate, al rispettivo numero globale di macchine[20]. A propria volta lo spiazzamento complessivo relativo ad ognuna delle tre configurazioni di tecnologie *computer based* è stato ricavato come differenziale fra l'occupazione diretta richiesta complessivamente prima e dopo la loro adozione. La Tabella 1, oltre ad evidenziare i valori dei tre coefficienti, presenta in forma sintetica i dati che ne hanno consentito la determinazione. Ricordando che i coefficienti di spiazzamento scontano, per come sono stati ottenuti, il ricorso ad un impiego delle tecnologie *computer based* mediamente protratto per oltre un turno giornaliero, i valori assunti da questi ultimi risultano pari a 1,16 nel caso di robot, *machining*

center e macchine utensili a CNC e, rispettivamente, a 0,85 ed a 1,41 per le macchine integrate nei sistemi di lavorazione e di montaggio[21].

Tabella 1: Coefficienti di spiazzamento degli addetti per tipologia di automazione flessibile e loro determinazione.

Configurazione tecnologica	Numero di addetti spiazzati da ogni macchina operatrice	Campo d'indagine		
		Imprese interpellate	Sistemi analizzati	Totale macchine considerate
		num.	num.	num.
Macchine operatrici integrate in:				
* sistemi di lavorazione	0,85	55	65	237
* sistemi di montaggio/ assemblaggio	1,41	14	45	242
Maching center, robot macchine operatrici a CNC	1,16	37	—	179

Fonte: Indagine sul campo.

Prima di illustrare le stime ottenute occorre inoltre rilevare come nello specifico caso dei sistemi di AF i coefficienti di spiazzamento determinati tramite il confronto fra gli operatori coinvolti nei processi automatizzati prima dell'introduzione dei sistemi di AF e quelli ad essa successiva, tengono implicitamente conto anche della quantità di forzalavoro resa esuberante per il solo agire degli effetti organizzativo/gestionali associati alle tecnologie *computer based*.

Il quadro generale. Sulla base della metodologia adottata, la dimensione dello spiazzamento di addetti diretti in produzione indotta dalla diffusione delle tecnologie *computer based* fra le imprese aderenti a Federmeccanica, è risultata, all'inizio del 1989, complessivamente pari a 22.080 unità (Tab. 2). Di questi 12.488 (equivalenti ad oltre il 56% del totale) sono dovuti alla diffusione delle soluzioni integrate di AF, mentre i restanti 9.592 addetti sono legati all'impiego di singoli robot, *machining center* e macchine utensili a CNC.

Il confronto con i dati forniti da Attenborough (1984) in relazione alla diffusione di robot e macchine utensili a CN

Tabella 2: Addetti diretti in produzione «spiazzati» dall'automazione flessibile e loro incidenza sul totale degli operai dell'industria metalmeccanica, al 1989 (a)

	Addetti spiazzati num.	Incidenza degli addetti spiazzati su		
		addetti imprese adottatrici %	totale addetti industria metalmeccanica %	totale operai industria metalmeccanica %
Sistemi di AF	12.488	6,04	1,50	2,18
Robot & CNC (stand alone)	9.592	3,76	1,15	1,68
Totale	22.080		2,65	3,86

(a) I dati sull'occupazione nell'industria metalmeccanica sono relativi al 1987 e concernono gli aderenti a Federmeccanica.
Fonte: Elaborazione degli autori dall'Indagine sul campo e dalla Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

nell'industria britannica, sembrerebbe evidenziare nel caso della realtà italiana una dimensione abbastanza contenuta del *displacement* di forza lavoro diretta. A fronte delle 22.000 unità spiazzate in Italia al 1989, Attenborough stima che l'esubero di addetti nell'industria britannica nel 1982 oscilli fra le 50.000 e le 90.000 unità e, inoltre, prevede che l'effetto dell'impiego dell'AF risulti ben più radicale nel 1990, anno in cui la disoccupazione imputabile alle due tecnologie *computer based* dovrebbe oscillare fra le 200.000 e le 300.000 unità.

L'impressione di marginalità dell'effetto *labour saving* associato alla diffusione dell'AF in Italia scompare quando il numero degli addetti spiazzati venga messo in relazione al dato occupazionale dell'industria metalmeccanica[22]. L'incidenza degli addetti spiazzati per effetto dell'AF sull'occupazione del settore, pari ad oltre il 2,6%, evidenzia infatti come le dimensioni del fenomeno stiano assumendo una consistenza non più trascurabile.

Il rilievo degli addetti diretti spiazzati diviene ovviamente più consistente quando confrontato con la sola occupazione operaia con la quale, del resto, presenta una maggiore coerenza. In questo caso l'impatto delle tecnologie *computer based* comporta per gli addetti spiazzati una quota che sfiora il 3,9% del totale degli operai. Inoltre, a rendere ancor più problema-

tica la dimensione percentuale del fenomeno concorre, come evidenziato nel seguito, il prevalere di alcune categorie fra i profili degli addetti spiazzati, lasciando trasparire possibili polarizzazioni fra questi ultimi e riproponendo, di fatto, il problema della riallocazione delle risorse divenute esuberanti.

Alcune considerazioni iniziali sono suggerite dal confronto fra l'incidenza che gli addetti spiazzati assumono rispetto ai valori di riferimento dell'industria e quelli relativi agli occupati nelle sole imprese adottatrici delle tecnologie *computer based*. Il maggior rilievo dell'incidenza relativa agli addetti delle imprese adottatrici, mostra infatti di differenziarsi significativamente in relazione alla forma di AF adottata. Se i valori dello spiazzamento di addetti diretti indotti, rispettivamente, dalle soluzioni *stand alone* e dai sistemi di AF adottati, quando pesati sul totale dell'occupazione, accentuano ulteriormente la valenza *labour saving* delle soluzioni integrate (1,5% *vs.* 1,1%), d'altro canto i differenziali di peso assunti nel caso dell'occupazione relativa ai soli adottatori mostrano di rispecchiare i diversi tassi di adozione che caratterizzano la diffusione delle forme integrate rispetto a quelle *stand alone*. Per le prime l'incidenza degli addetti spiazzati, passando dal dato generale a quello relativo ai soli adottatori, si quadruplica (dall'1,5% ad oltre il 6%) mentre nel caso delle tecnologie *stand alone*, pur risultando il fattore di crescita superiore a tre (dall'1,1% al 3,8%), l'entità percentuale dello spiazzamento è nettamente più contenuta, a conferma della maggiore diffusione inter-impresa di tali tecnologie.

Più interessanti, per i risvolti che comportano per i profili professionali, appaiono i dati relativi allo spiazzamento di forza lavoro indotto dalla tipologia di applicazione — lavorazione o montaggio/assemblaggio — dei sistemi integrati di AF (Tab. 3). In virtù degli oltre 8.000 addetti spiazzati, i sistemi di montaggio/assemblaggio rivestono il ruolo di maggior peso. In termini di incidenza sull'occupazione del comparto, gli addetti resi esuberanti nelle operazioni di assemblaggio sono pari a circa l'1% (nel caso della sola componente operaia superano l'1,4%) mentre nel caso della lavorazione risultano pari a poco più dello 0,5% (ed a circa lo 0,8% per gli operai).

Le ragioni del consistente divario che separa i due pesi possono essere ricondotte al concorrere di fattori tecnologici e strutturali strettamente interrelati.

Per quanto concerne l'assemblaggio (sia reversibile che non), il notevole contributo dato dalla robotica all'automazione di tali fasi ha consentito ai sistemi di AF di riprodurre in termini economicamente vantaggiosi le pur semplici operazioni svolte in tali fasi produttive. A ciò, inoltre, occorre aggiungere come il campo di applicazione delle fasi di assemblaggio/montaggio, essendo tipicamente circoscritto alle produzioni per grandi e medio-grandi lotti, tradizionalmente svolte con l'impiego di un numero consistente di addetti scarsamente qualificati, ben si presta a processi di automazione volti ad aumentare la produttività della forza lavoro o a contenerne l'incidenza sui costi complessivi[23]. Esempi emblematici di tale convergenza sono forniti dai casi dell'impianto di Olivetti per l'assemblaggio delle macchine da scrivere e, più in generale, dalle soluzioni di processo adottate da Telettra. Nel primo caso la sostituzione della forza lavoro ha comportato una riduzione dei costi del lavoro pari al 36% nelle fasi direttamente automatizzate (cui ne corrisponde una pari al 25% nel caso dei costi del lavoro associati al processo di assemblaggio nel suo complesso). Nel

Tabella 3: Addetti diretti in produzione «spiazzati» dai sistemi di automazione flessibile di lavorazione e di montaggio/assemblaggio e loro incidenza sul totale degli addetti e degli operai dell'industria metalmeccanica al 1989 (a)

		Incidenza degli addetti spiazzati su	
	Addetti spiazzati num.	totale addetti industria metalmeccanica %	totale opeai industria metalmeccanica %
Sistemi di AF per			
* lavorazione	4.408	0,53	0,77
* montaggio/assemblaggio	8.080	0,97	1,41
Totale	12.488	1,50	2,18

(a) I dati sull'occupazione nell'industria metalmeccanica sono relativi al 1987 e concernono gli aderenti a Federmeccanica.
Fonte: Elaborazione degli autori dall'Indagine sul campo e dalla Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

secondo caso, relativo all'assemblaggio delle centraline, l'impresa ha implementato la propria filosofia, incentrata sulla sostituzione della risorsa umana ogniqualvolta le operazioni da essa svolte divengano strutturabili, con il duplice obiettivo di aumentare la produttività delle proprie risorse, nonché di migliorare i tempi di risposta al mercato della propria struttura organizzativa.

Per quanto concerne le fasi di lavorazione dei pezzi valgono considerazioni opposte. Da un lato, il tipo di produzione, prevalentemente per lotti di dimensioni minori, le cui «radici» organizzative affondano nel *job-shop*, dall'altro un più complesso processo di trasferimento degli *skills* dall'operaio specializzato alla macchina ed al programmatore e, soprattutto, di gestione di processi con un minor grado di strutturabilità, hanno contribuito a limitare la diffusione dei sistemi integrati per la lavorazione ed a contenerne la dimensione in termini di macchine integrate.

I diversi riflessi della diffusione dei sistemi integrati sull'occupazione mostrano quindi di risultare più rilevanti per gli addetti diretti a basso livello di qualificazione. Pur non essendo questa la sede più appropriata, occorre evidenziare come tale fenomeno rimandi ad un problema particolarmente spinoso qual è quello della qualificazione/riqualificazione degli addetti diretti spiazzati. Il prevalente spiazzamento dei profili meno qualificati può infatti comportare problemi non secondari per quanto concerne la loro riallocazione all'interno dell'attività dell'impresa. È in tal senso sufficiente riandare all'esperienza dell'assemblaggio delle macchine da scrivere dove Olivetti, pur potendo disporre di 250 addetti spiazzati, ha dovuto rivolgersi al mercato esterno per acquisire 15 operatori da destinare alle mansioni di manutenzione del nuovo impianto. Il problema della riqualificazione degli addetti spiazzati, degli strumenti da utilizzare a tal fine, nonché di chi debba farsi carico di tale processo e della responsabilità della sua gestione, torna quindi a riproporsi in termini molto espliciti.

Lo spiazzamento degli addetti in relazione alle caratteristiche strutturali delle imprese. Quantificati gli effetti *labour saving*

delle tecnologie *computer based* applicate alla sfera della produzione, il quesito probabilmente più importante che si pone concerne la comprensione del come l'effetto di spiazzamento degli addetti interagisca con le caratteristiche strutturali delle imprese e del come le condotte di queste ultime risultino da esso influenzate.

Il complesso intreccio fra configurazioni dell'AF, loro ambiti di applicazione e caratteristiche strutturali degli adottatori evidenzia, a fianco di «conferme» scontate, alcune indicazioni di chiaro interesse sul comportamento di alcune categorie di imprese.

Le Tabelle 4 e 5 illustrano la ripartizione, per classe dimensionale degli adottatori, degli addetti diretti spiazzati in produzione dalle soluzioni integrate di AF e da quelle *stand alone*. L'incidenza degli addetti spiazzati rispetto all'occupazione nell'industria e nelle imprese coinvolte completa le informazioni sintetizzate dalle tabelle.

Per quanto concerne le «conferme», i dati relativi all'impatto dei soli sistemi di AF (Tab. 4) evidenziano come lo spiazzamento di addetti diretti sia risultato, per dimensione, un fenomeno fondamentalmente circoscritto alle imprese con

Tabella 4: Addetti diretti in produzione «spiazzati» dai sistemi di automazione flessibile e loro incidenza sul totale degli addetti e degli operai dell'industria metalmeccanica per classe dimensionale, al 1989 (a)

	Addetti spiazzati da sistemi AF	Incidenza degli addetti spiazzati su		
		addetti imprese adottatrici	totale addetti industria metalmeccanica	totale operai industria metalmeccanica
	num.	%	%	%
1-50	678	19,85	0,53	0,79
51-100	525	7,89	0,46	0,67
101-200	703	6,72	0,66	0,97
201-500	767	4,08	0,51	0,75
Oltre 500	9.815	5,86	2,89	4,21
Totale	12.488	6,04	1,5	2,18

(a) I dati sull'occupazione nell'industria metalmeccanica sono relativi al 1987 e concernono gli aderenti a Federmeccanica.
Fonte: Elaborazione degli autori dall'Indagine sul campo e dalla Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

almeno 500 addetti. Ai sistemi di AF adottati da queste ultime si deve lo spiazzamento di 9.815 addetti diretti, cioè il 78% del dato complessivo. Analogamente l'incidenza di questi ultimi sull'occupazione del settore nella corrispondente classe dimensionale assume i valori più elevati, pari rispettivamente al 2,9% nel caso degli addetti, ed al 4,2% in quello della sola componente operaia. In ragione di tali pesi lo spiazzamento percentuale di addetti registrato nella fascia dimensionale superiore risulta mediamente 5 volte maggiore di quello verificato nelle classi dimensionali minori.

Il quadro si stravolge completamente quando l'incidenza degli addetti spiazzati viene calcolata rispetto agli addetti occupati nelle sole imprese adottatrici. In questo secondo caso le tecnologie *computer based* adottate dalle imprese con meno di 50 addetti, inducono uno spiazzamento di forza lavoro diretta che sfiora il 20% dell'occupazione di classe, mentre la quota corrispondente per le imprese con oltre 500 addetti non tocca il 6%.

Il confronto fra l'incidenza degli addetti spiazzati intra-impresa, cioè a livello d'impresa, e di quelli inter-impresa, a livello d'industria, evidenzia quindi l'esistenza, in parte inattesa, di comportamenti incentrati su un approccio «spregiudicato» alla definizione del *trade-off* fra capitale e lavoro. I dati della Tabella suggeriscono in tal senso come un nucleo di piccole-piccolissime imprese stia cercando di conseguire nuovi livelli di efficienza coniugando la propria tradizionale flessibilità nella gestione della risorsa lavoro con la nuova flessibilità offerta dai sistemi di AF.

Che l'elevata concentrazione degli effetti di spiazzamento degli addetti legata ai soli sistemi integrati riscontrata nella fascia delle imprese minori possa costituire, più in generale, l'indicazione di un'evoluzione del comportamento delle imprese dell'industria metalmeccanica, trova conferma anche nell'analoga analisi riferita all'impatto delle sole soluzioni *stand alone* di AF (Tab. 5). Pur risultando i dati di incidenza dello spiazzamento relativi ad ogni singola classe maggiormente omogenei, anche nel caso dei robot e delle macchine utensili a CNC risalta la concentrazione del fenomeno evidenziata dalle

imprese con meno di 50 addetti. In tal senso per queste ultime l'incidenza degli addetti diretti spiazzati a livello intra-impresa è pari all'8,4% (1,7% per le imprese con oltre 500 addetti) risultando in tal modo superiore di 10 volte al dato a livello inter-impresa, pari allo 0,8% (1,3% per quelle con oltre 500 addetti).

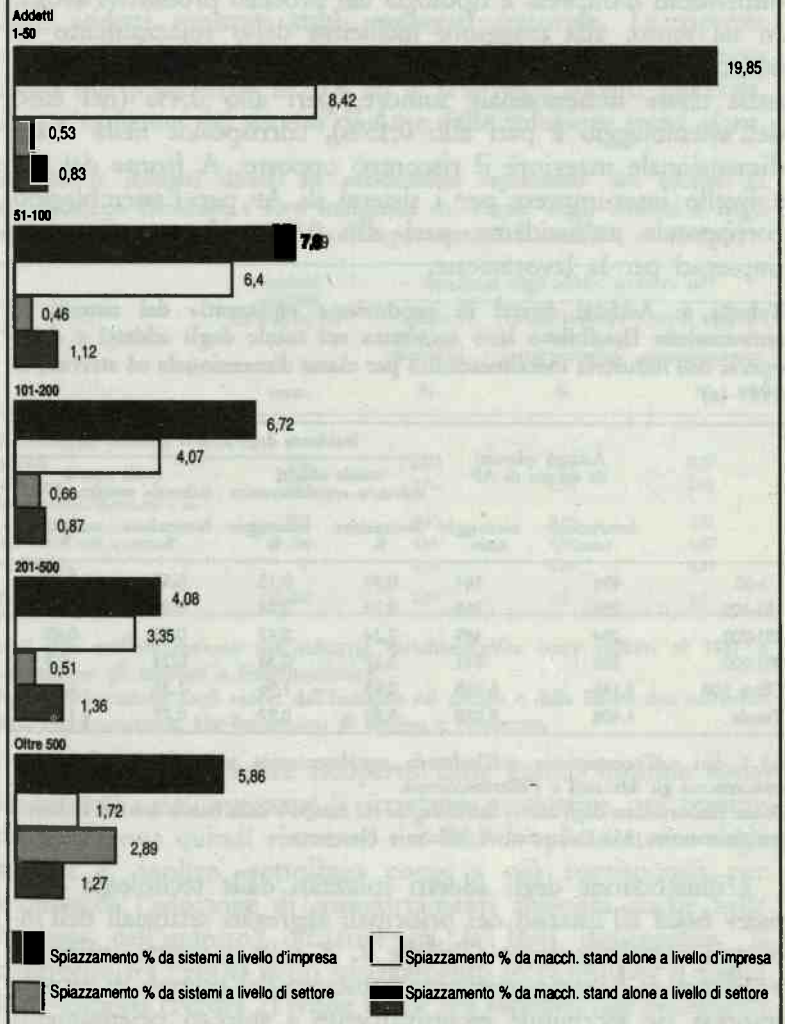
La rappresentazione grafica dei fenomeni descritti (Figura 1) consente infine di evidenziare il comportamento delle imprese con oltre 500 addetti. Infatti, mentre nelle classi a quest'ultima inferiori l'effetto percentuale di spiazzamento di addetti diretti indotto dai sistemi integrati risulta, rispetto a quello relativo ai macchinari *stand alone*, rispettivamente, superiore a livello intra-impresa ed inferiore a quello inter-impresa, nel caso delle imprese con oltre 500 addetti lo spiazzamento percentuale dovuto ai sistemi è superiore sia a livello di impresa che di settore. Ciò se, da un lato, costituisce l'ennesima conferma della diffusione raggiunta dai sistemi di AF fra le grandi imprese, dall'altro suggerisce come, laddove esistano le necessarie risorse economiche ed organizzative, il carattere sistemico, implicito alle potenzialità integrative dell'AF, venga scientemente sfruttato.

Tabella 5: Addetti diretti in produzione «spiazzati» da robot e machining center (stand alone) e loro incidenza sul totale degli addetti e degli operai dell'industria metalmeccanica per classe dimensionale, al 1989 (a)

	Addetti spiazzati da Robot & CNC	Incidenza degli addetti spiazzati su		
	num.	addetti imprese adottatrici %	totale addetti industria metalmeccanica %	totale operai industria metalmeccanica %
1-50	1.051	8,42	0,83	1,23
51-100	1.262	6,4	1,12	1,61
101-200	921	4,07	0,87	1,26
201-500	2.042	3,35	1,36	2
Oltre 500	4.316	1,72	1,27	1,85
Totale	9.592	2,61	1,15	1,68

(a) I dati sull'occupazione nell'industria metalmeccanica sono relativi al 1987 e concernono gli aderenti a Federmeccanica.
Fonte: Elaborazione degli autori dall'Indagine sul campo e dalla Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Figura 1: Incidenza dello spiazzamento di addetti diretti indotto da sistemi e da macchinari stand alone di AF a livello d'impresa e di settore, per classe di addetti



Fonte: Elaborazione degli autori dall'indagine sul campo e da Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP - Politecnico di Milano e Nomisma

Un dettaglio dello spiazzamento di addetti imputabile ai soli sistemi di AF in relazione al tipo di operazione svolta oltre che alla classe dimensionale è illustrato in Tabella 6. L'incidenza degli addetti spiazzati, pur rilevata per questo scopo solo a livello inter-impresa, conferma il rilievo dell'intreccio fra dimensioni d'impresa e tipologia dei processi produttivi svolti. In tal senso, alla maggiore incidenza dello spiazzamento di addetti associato all'adozione di sistemi di AF per la lavorazione nella classe dimensionale minore, pari allo 0,4% (nel caso dell'assemblaggio è pari allo 0,15%), corrisponde nella classe dimensionale maggiore il riscontro opposto. A fronte del 2% a livello inter-impresa per i sistemi di AF per l'assemblaggio corrisponde un'incidenza pari allo 0,9% nel caso di quelli impiegati per la lavorazione.

Tabella 6: Addetti diretti in produzione «spiazzati» dai sistemi di automazione flessibile e loro incidenza sul totale degli addetti e degli operai dell'industria metalmeccanica per classe dimensionale ed attività, al 1989 (a)

	Addetti spiazzati da sistemi di AF		Incidenza degli addetti spiazzati su			
			totale addetti industria metalmeccanica		totale operai industria metalmeccanica	
	lavorazione num.	montaggio num.	lavorazione %	montaggio %	lavorazione %	montaggio %
1-50	494	184	0,39	0,15	0,58	0,22
51-100	256	269	0,23	0,24	0,33	0,34
101-200	254	449	0,24	0,42	0,35	0,62
201-500	256	511	0,17	0,34	0,25	0,5
Oltre 500	3.148	6.666	0,93	1,96	1,35	2,86
Totale	4.408	8.080	0,53	0,97	0,77	1,41

(a) I dati sull'occupazione nell'industria metalmeccanica sono relativi al 1987 e concernono gli aderenti a Federmeccanica.
Fonte: Elaborazione degli autori dall'Indagine sul campo e dalla Banca dati sull'industria metalmeccanica, Mip-Politenico di Milano e Nomisma.

L'illustrazione degli addetti spiazzati dalle tecnologie *computer based* all'interno dei principali aggregati settoriali dell'industria metalmeccanica (Tabelle 7, 8 e 9) consente infine di verificare se il comportamento mostrato dal gruppo di piccole imprese sia ascrivibile esclusivamente a spiccati orientamenti innovativi o se risulti «indotto» dalla specificità dei settori di appartenenza.

Il quadro che emerge conferma come il comportamento delle imprese rispetto all'adozione delle forme di AF, oltre che dalle dimensioni, risulti influenzato anche dalle caratteristiche del settore di appartenenza. La presenza nei settori di grandi imprese innovative in grado di svolgere un ruolo di «traino» appare preminente nello spiegare i differenziali di spiazzamento degli addetti mostrati dagli aggregati settoriali. La riprova migliore è fornita dal settore dell'auto e della sua componentistica che presentano il 75% ed il 32% degli addetti spiazzati, rispettivamente, dai sistemi di AF e dalle soluzioni *stand alone*.

Tabella 7: Addetti diretti in produzione «spiazzati» dai sistemi di automazione flessibile e loro incidenza sul totale degli addetti e degli operai dell'industria metalmeccanica per settori di attività, al 1989 (a)

	Addetti spiazzati da sistemi AF	Incidenza degli addetti spiazzati su		
		addetti imprese adottatrici	totale addetti industria metalmeccanica	totale operai industria metalmeccanica
	num.	%	%	%
Lavorazione metalli	192	8,92	0,21	0,27
Meccanica	1.973	3,76	0,56	0,83
Prod. elettrici/elettronici e informatici	988	2,35	0,58	0,98
Autoveicoli cicli e moto	9.326	8,91	4,58	6,07
Aeronautica	8	0,16	0,09	0,15
Totale	12.487	6,04	1,5	2,2

(a) I dati sull'occupazione nell'industria metalmeccanica sono relativi al 1987 e concernono gli aderenti a Federmeccanica.
Fonte: Elaborazione degli autori dall'Indagine sul campo e dalla Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Il ruolo storicamente ricoperto dalle grandi imprese automobilistiche nell'innovare la struttura produttiva per tramite dell'AF, trova quindi riscontro nei dati di spiazzamento degli addetti e, inoltre, sottolinea come a ciò corrisponda per «contagio» l'adozione di comportamenti analoghi anche nelle imprese dell'indotto, qualsiasi sia la loro dimensione. Il confronto fra l'entità dello spiazzamento intra-impresa e quello inter-impresa (Figura 2) rende ancor più esplicita tale peculiarità del settore, evidenziando come il grado di spiazzamento della forza lavoro legato ai sistemi di AF risulti molto elevato

Tabella 8: Addetti diretti in produzione «spiazzati» da robot e machining center (stand alone) e loro incidenza sul totale degli addetti e degli operai dell'industria metalmeccanica per settori di attività, al 1989 (a)

	Addetti spiazzati da Robot & CNC num.	Incidenza degli addetti spiazzati su		
		Addetti imprese adottatrici %	Totale addetti industria metalmeccanica %	Totale operai industria metalmeccanica %
Lavorazione metalli	491	1,88	0,53	0,69
Meccanica	4.312	4,04	1,22	1,82
Prod. elettrici/elettronici e informatici	1.359	2,01	0,8	1,35
Autoveicoli cicli e moto	3.030	1,89	1,49	1,97
Aeronautica	399	6,04	4,02	6,97
Totale	9.592	2,61	1,16	1,69

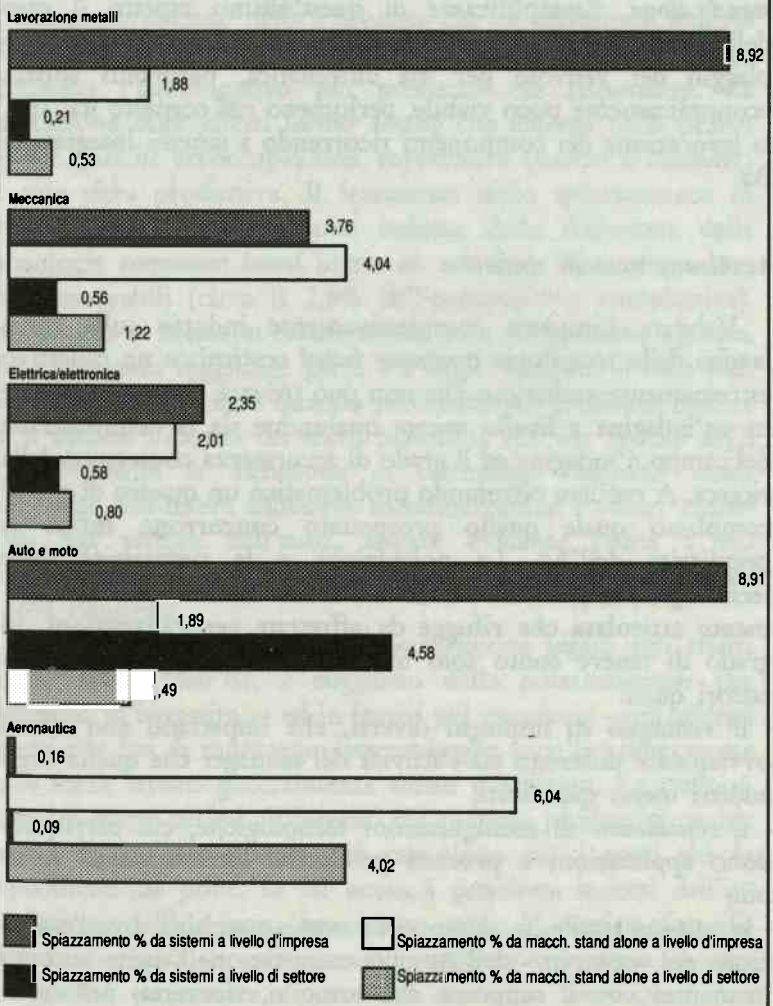
(a) I dati sull'occupazione nell'industria metalmeccanica sono relativi al 1987 e concernono gli aderenti a Federmeccanica.
Fonte: Elaborazione degli autori dall'Indagine sul campo e dalla Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP-Politecnico di Milano e Nomisma.

Tabella 9: Addetti diretti in produzione «spiazzati» dai sistemi di automazione flessibile e loro incidenza sul totale degli addetti e degli operai dell'industria metalmeccanica per settori di attività, al 1989 (a)

	Addetti spiazzati da sistemi di AF		Incidenza degli addetti spiazzati su			
			totale addetti industria metalmeccanica		totale operai industria metalmeccanica	
	lavorazione num.	montaggio num.	lavorazione %	montaggio %	lavorazione %	montaggio %
Lavorazione metalli	104	88	0,11	0,1	0,15	0,12
Meccanica	1.318	656	0,37	0,19	0,56	0,28
Prod. elettrici/elettronici e informatici	131	858	0,08	0,5	0,13	0,85
Autoveicoli cicli e moto	2.847	6.479	1,4	3,18	1,85	4,21
Aeronautica	8	0	0,09	0	0,15	0
Totale	4.408	8.080	0,53	0,97	0,78	1,42

(a) I dati sull'occupazione nell'industria metalmeccanica sono relativi al 1987 e concernono gli aderenti a Federmeccanica.
Fonte: Elaborazione degli autori dall'Indagine sul campo e dalla Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP- Politecnico di Milano e Nomisma.

Figura 2: Incidenza dello spiazzamento di addetti diretti indotto da sistemi e da macchinari stand alone di AF a livello d'impresa e di settore, per aggregati settoriali



Fonte: Elaborazione degli autori dall'indagine sul campo e da Banca dati sull'industria metalmeccanica, MIP - Politecnico di Milano e Nomisma.

per entrambi i livelli d'analisi, oltre che costantemente superiore a quello rilevato per le tecnologie *computer based* di tipo *stand alone*.

Per quanto concerne gli altri aggregati settoriali si assiste infatti al riscontro degli effetti del ricorso «episodico» ai sistemi di AF[24] od al netto prevalere delle tecnologie *computer based stand alone*. Esemplificante di quest'ultimo aspetto il caso dell'aerospazio, ove se risulta avveniristico parlare di assemblaggio del velivolo per via automatica, parimenti appare economicamente poco viabile, perlomeno nel contesto italiano, la lavorazione dei componenti ricorrendo a sistemi integrati di AF.

4. *Alcune note di sintesi*

Valutare l'impatto complessivamente indotto sulla forza lavoro dalle tecnologie *computer based* costituisce un obiettivo estremamente ambizioso che non può trovare risposte esaustive in un'indagine a livello *micro*, qualunque sia la delimitazione del campo d'indagine ed il grado di accuratezza conseguito dalla ricerca. A rendere oltremodo problematico un quadro di per sè complesso quale quello prospettato concorrono infine le peculiarità dell'AF. La poliedricità e la pervasività delle tecnologie *computer based* ne fanno un'innovazione estremamente articolata che rifugge da affrettate generalizzazioni, in grado di tenere conto solo in modo molto approssimato di fattori quali:

- il ventaglio di impieghi diversi, che impattano con effetti ovviamente differenti sia l'attività dei manager che quella degli addetti meno qualificati;
- il *continuum* di configurazioni tecnologiche, cui corrispondono applicazioni e processi produttivi estremamente variabili;
- la valenza attribuita al rapporto uomo-macchina, ove l'assunzione del «compito» dell'AF può consistere nell'«agire autonomamente» con il supporto dell'uomo o, viceversa, nell'«interagire» con quest'ultimo al fine di stimolarne e potenziarne le capacità.

In ragione di ciò l'indagine svolta, più che tentare improbabili risposte esaustive sul rapporto fra AF ed occupazione, ha teso a «fissare» alcuni punti fermi nell'analisi di tale fenomeno che, pur ancorati alla realtà dell'industria metalmeccanica italiana, potessero rappresentare evidenze significative da cui partire per successivi approfondimenti.

La comprensione della rilevanza che la diffusione dell'AF può assumere in termini di disoccupazione tecnologica ha costituito l'interrogativo più pressante cui rispondere. La valutazione degli effetti *labour saving* che emerge dalla ricerca induce qualche preoccupazione, soprattutto quando si consideri la sola sfera produttiva. Il fenomeno dello spiazzamento di addetti diretti in produzione indotto dalla diffusione delle tecnologie *computer based* inizia ad assumere dimensioni non più trascurabili (circa il 2,6% dell'occupazione complessiva), soprattutto se messe in relazione alla sola componente operaia, ove l'incidenza raggiunge già il 4% degli occupati. Il dato non può non impressionare quando proiettato nel prossimo futuro. Se si assume l'ipotesi del tutto plausibile che per la fine degli anni Novanta la diffusione di tecnologie *computer based* raggiunga nell'intera industria metalmeccanica i valori conseguiti nel settore dell'auto, appare evidente come a ciò corrisponderà il raddoppio della disoccupazione tecnologica sinora registrata.

Un ulteriore elemento di preoccupazione legato agli effetti *labour saving* dell'AF, è suggerito dalla polarizzazione che mostrano di investire — ed in forma più massiccia — gli addetti diretti alle fasi di montaggio/assemblaggio, cioè la componente della forza lavoro generalmente meno qualificata. La riallocazione di questi ultimi all'interno dei processi produttivi rischia infatti di risultare sempre più complessa per i costi che la riqualificazione pone. In tal senso, i problemi indotti dall'introduzione dell'AF non concernono tanto la teorica riqualificazione di questa componente dell'occupazione operaia, quanto la viabilità economica di una tale scelta in presenza di un mercato del lavoro che non pone soverchi problemi di reclutamento per le nuove qualifiche, pur evidenziando mani-

feste carenze per quanto riguarda le figure ad elevato profilo tecnico-tecnologico (ingegneri e laureati in materie scientifiche in generale).

Meno problematica appare la riqualificazione degli addetti alle macchine operatrici a CN ed a CNC, per i quali la progressiva famigliarità e assimilazione di un *background* informatico ha costituito nel recente passato lo stimolo per passare a compiti di programmazione dei controlli numerici.

Effetti *labour saving* consistenti sono emersi anche nelle applicazioni delle tecnologie *computer aided* nella sfera di progettazione, ma il loro impatto attuale permane marginale per il concomitante agire di due diversi fattori:

- innanzitutto l'adozione nella sfera progettuale delle tecnologie *computer aided* investe comunque una componente abbastanza limitata della forza lavoro nell'industria metalmeccanica, ad eccezione di pochi settori — quali l'aerospazio e la filiera elettronica — ove il loro impiego costituisce un presupposto dell'attività industriale;
- la «scoperta» delle potenzialità del CAD e della varietà di output associati al suo impiego. Non infrequentemente ciò si è tradotto in un incremento significativo della produzione svolta nella sfera di progettazione — comunque non soddisfatta dalla maggiore produttività delle tecnologie *computer aided* — che ha comportato un aumento degli organici.

La scoperta delle potenzialità delle tecnologie *computer aided*, in particolare, il loro internalizzare *skills* precedentemente patrimonio dei «colletti blu», rimanda all'altro grande interrogativo sugli effetti dell'AF per i profili professionali.

La semplice contrapposizione fra *skill-upgrading* e *deskilling* rischia di appiattire oltremodo l'articolazione degli effetti indotti dalla diversità di caratteristiche che connota il *continuum* delle tecnologie *computer based*. In tal senso, se entrambe le tesi trovano elementi a supporto in alcuni dei caratteri assunti dalla disoccupazione tecnologica, tale fenomeno nel suo complesso non è spiegato compiutamente da nessuna delle due tesi.

Gli elementi sopra richiamati evidenziano come anche altri fattori, oltre alle caratteristiche intrinseche nella diverse configurazioni tecnologiche, concorrono a determinare la trasformazione dei profili professionali. Da un lato, le scelte organizzative, dall'altro, il grado di prevedibilità e la strutturabilità dei compiti da svolgere, danno ragione del prevalere sia della qualificazione degli addetti riscontrata nella sfera progettuale, sia dell'altrettanto evidente fenomeno inverso di dequalificazione rilevato nella sfera produttiva, che più soventemente trasforma gli addetti diretti in «estensione» della macchina più che in suoi «gestori».

Note

[1] Per approfondimenti sulle caratteristiche dei sistemi di AF, nonché di quelle dei macchinari *stand alone* si rimanda a quanto esposto nel Capitolo Secondo.

[2] Un riscontro particolarmente significativo, in quanto specificatamente legato all'impiego di sistemi di AF, è fornito da una recente indagine di Hollard e Margirier (1987). I due Autori, analizzando l'introduzione dell'AF in 17 imprese francesi, evidenziano significative variazioni nella composizione degli organici. Le potenzialità produttive delle applicazioni dell'AF nella sfera della produzione associate al nuovo ruolo assunto dalle attività svolte nella sfera della progettazione, emergono in tal senso quali principali ragioni del drastico ridimensionamento della componente operaia, la cui incidenza percentuale sul totale degli addetti nelle imprese considerate si riduce di oltre 22 punti percentuali, scendendo da oltre l'80% a poco meno del 58%.
Conferme di ciò emergono anche dall'indagine presentata in queste pagine. In particolare, si citano i casi di Telettra, ove i diplomati costituiscono attualmente il 32% della forza lavoro ed i laureati ben il 15%, e di Aermacchi, che negli ultimi dieci anni ha visto scendere l'incidenza degli operai dal 50% al 30%.

[3] In particolare Piore e Sabel (1984, pag. 261) affermano:
«... The computer is thus a machine that meets Marx's definition of an artisan's tool: it is an instrument that responds to and extends the productive capacities of the user. It is therefore tempting to sum the observations of engineers and ethnographers to the conclusion that technology has ended the dominion of specialized machines over un- and semi-skilled workers, and redirected progress down the path of craft production. The advent of computer restores human control over the production process; machinery again is subordinated to the operator.»

[4] È qui sufficiente ricordare la diffusione di programmi, qual è AutoCAD, impiegati per il solo *drafting* o per l'ottimizzazione del *layout* di circuiti elettrici.

[5] È opportuno ricordare che la produzione di parti di aeromobili presenta problemi di carattere operativo di notevole difficoltà. Basti qui ricordare l'esigenza di lavorare oggetti a curvatura doppia e la produzione di componenti la cui complessità richiede cicli di lavorazione superiori alla decina di ore. Risulta in tal senso evidente l'importanza di poter tenere conto già in fase progettuale dei vincoli posti dalle macchine operatrici.

[6] Casi analoghi hanno accompagnato la diffusione del CAD/CAM anche nell'industria automobilistica, ove l'avvento delle tecnologie *computer aided* ha comportato la scomparsa degli «artigiani» che, costruendo il modello in legno delle varie componenti della carrozzeria dell'auto, ponevano i presupposti per lo sviluppo successivo dei prototipi.
[7] Si pensi all'implicita evoluzione imposta nel passaggio dalla progettazione di circuiti a componenti discreti a quella di circuiti integrati.
[8] Sui rischi associati alla messa in discussione dell'«autorità da autorevolezza» si veda anche Cainarca (1987).
[9] Si vedano le tesi sulla specializzazione flessibile di Piore e Sabel (1984).
[10] Bo Carlsson (1984) descrivendo la nascita dell'industria delle armi da fuoco nel Nord America evidenzia come il superamento della struttura artigianale, il cui livello di produzione risultava insufficiente rispetto al livello di domanda del mercato, fu reso possibile dall'introduzione delle prime macchine utensili che «incorporavano» e standardizzavano l'abilità degli artigiani nella lavorazione delle canne da fuoco.
[11] Come evidenziato nel paragrafo precedente, nel caso di cooperazione fra gli addetti della sfera di progettazione e di quelli impiegati in produzione è generalmente più probabile che sia l'operatore al CAD a trarre vantaggio dalle indicazioni/correzioni suggeritegli da chi opera alle macchine a CN, che non il viceversa.
[12] A tal proposito Fleck (1984) scrive:
«However, the skills required for robotics maintenance, programming, etc., do not appear in the longer term to offer great scope for either an increase in the level of skill of workers in these categories, or for an increase in employment opportunities. Training in the form of weeks or months, long courses, rather than years long apprenticeships was clearly an adequate basis for effective practice. Generally, manufacturers deliberately design controls to suit the level of skill already available, ... while diagnostics procedures are being simplified and programming made much easier».
[13] Ciò è chiaramente comprensibile quando si consideri che il tempo di formazione richiesto dai nuovi compiti è inferiore alla settimana. Si veda in proposito la nota 12.
[14] Il termine intende sintetizzare due differenti caratteristiche delle attività svolte: la loro prevedibilità e la loro frequenza.
[15] Si veda in proposito quanto esposto nel Capitolo Secondo.
[16] Si veda in proposito quanto esposto sulle traformazioni indotte sui contenuti dei profili.
[17] Le attività raggruppate nella lavorazione raccolgono le operazioni di asportazione di materiale, di taglio e di deformazione. Il montaggio include oltre alle diverse forme di assemblaggio anche le operazioni di saldatura.
[18] L'esistenza di tale differenziale è del resto intuibile quando si consideri come le «lavorazioni» — tradizionalmente svolte da personale specializzato su macchine utensili e tipiche del *job-shop* — implichino un rapporto uno a uno fra macchina ed operatore, mentre il «montaggio» vede generalmente il concorrere di più personale (usualmente non qualificato) all'assemblaggio di prodotti più o meno complessi — si pensi al caso limite della catena di montaggio.
[19] I sistemi complessivamente analizzati sono stati 141, ma di questi 31 — 5 per il montaggio e 26 per la lavorazione — sono stati esclusi dall'elaborazione per

determinare i coefficienti di spiazzamento in quanto legati all'avvio di nuove produzioni da parte delle rispettive imprese adottatrici cui non corrispondeva alcun dato relativo ad una precedente occupazione.

[20] Nel caso dei sistemi di lavorazione e di quelli di montaggio/assemblaggio il numero complessivo delle macchine relativo ad ognuna delle due tipologie è stato ottenuto sommando le macchine incluse nei rispettivi sistemi.

[21] Per come sono stati calcolati i coefficienti risultano quindi scarsamente confrontabili con quelli evidenziati da altre ricerche che, comunque, risultano riferiti alle sole configurazione *stand alone*, mancando in letteratura riferimenti alle macchine integrate in sistemi. A titolo puramente indicativo lo spiazzamento di addetti per singolo turno giornaliero è valutato pari a 0,6 (Watanabe, 1984) e 0,7 (Koshiro, 1983) per le applicazioni di robot nell'indutria automobilistica giapponese, a 1,4 (Fleck, 1984) nel caso dei robot impiegati nell'industria britannica ed a 1 (Hunt e Hunt, 1983) per quelli impiegati negli Stati Uniti.

[22] I dati sull'occupazione nei settori della metalmeccanica in Italia utilizzati in questa sede sono quelli stimati da Federmeccanica per il 1987. A testimonianza della rappresentatività dei risultati illustrati nel seguito, giova ricordare che l'occupazione nelle imprese aderenti a Federmeccanica è circa pari alla metà di quella complessiva relativa all'intera industria metalmeccanica italiana. Ai dati relativi agli associati a Federmeccanica si intenderà far riferimento nel seguito, salvo esplicita menzione, ogniqualvolta si analizzerà l'incidenza dello spiazzamento di forza lavoro rispetto all'insieme degli addetti e/o della sola componente operaia occupato nel complesso dell'industria metalmeccanica in Italia.

[23] Nel caso dell'assemblaggio leggero i sistemi di AF sono valutati competitivi rispetto alle soluzioni incentrate sull'impiego della sola forza lavoro ed a quelle di automazione rigida, quando i volumi produttivi richiesti oscillano fra i 100.000 ed i 500.000 pezzi annui.

[24] La maggior «episodicità» nel ricorso ai sistemi di AF negli altri macrosettori trova nella prima lavorazione dei metalli l'esempio più emblematico. Infatti, a testimonianza della considerevole concentrazione degli effetti di spiazzamento imputabile ai soli sistemi di AF, pur presentando in assoluto il valore più elevato di disoccupazione tecnologica a livello intra-impresa, l'industria della prima lavorazione dei metalli evidenzia a livello inter-impresa un'incidenza dell'impatto occupazionale molto contenuto, superiore al solo settore dell'aerospazio.

Capitolo Quarto

LE PRESTAZIONI CONNESSE ALL'ADOZIONE DI AUTOMAZIONE FLESSIBILE

1. *Introduzione*

Nel Capitolo Terzo abbiamo esaminato l'entità e la qualità dei cambiamenti che la diffusione dell'AF ha comportato sull'occupazione in Italia, come effetto diretto dell'introduzione dei nuovi sistemi. In precedenza, tuttavia, abbiamo avuto modo di sottolineare come, ai fini di una corretta valutazione dell'impatto di lungo periodo della nuova tecnologia sulla dinamica occupazionale, tale approccio al problema, per quanto accurata possa essere la metodologia seguita, risulti insufficiente e sia da integrare con un'analisi più ampia, inerente sia le prestazioni che la tecnologia consente nell'uso degli altri fattori produttivi, sia gli effetti *non incorporati* che il carattere sistemistico dell'AF chiama con sé nel campo delle innovazioni organizzativo-gestionali. In particolare, debbono essere indagati l'eventuale esistenza di effetti *capital-saving* e le opportunità che la nuova tecnologia offre in termini di crescita di una nuova domanda di mercato, più sofisticata ed elastica. Il significativo operare di tali effetti è, infatti, destinato ad attivare circuiti virtuosi nel sistema economico, i quali, nel medio e lungo periodo, possono compensare almeno parzialmente gli effetti di spiazzamento occupazionale. Infine, in una visione non deterministica del legame tecnologia-occupazione, l'insieme dei processi economici cui si fa riferimento risulta influenzato dalle condotte delle imprese e, più in generale, delle diverse istituzioni economico-sociali. Soprattutto, i differenti approcci all'automazione delle imprese e la loro capacità di esplorazione-apprendimento delle opportunità offerte dall'AF condizionano le prestazioni da esse ottenute con l'adozione dei nuovi sistemi e, soprattutto, influenzano, attraverso un processo cumulativo, le specifiche traiettorie evolutive della tecnologia, nonché l'ampiezza e la profondità con cui trovano attuazione particolari caratteri paradigmatici della stessa. Questo insieme di aspetti sarà discusso nel seguito del presente Capitolo.

2. *Le prestazioni dell'automazione flessibile: un quadro generale*

Una recente ricerca condotta presso il Politecnico di Milano (Turco e Bartezzaghi, 1989) consente di discutere il tema delle prestazioni connesse all'adozione di forme di AF e delle correlate innovazioni gestionali, attraverso la presentazione del quadro generale degli effetti registrati presso un campione di imprese innovative, prevalentemente operanti nell'area dei processi produttivi manifatturieri intermittenti, cioè ove è massima la diffusione di AF. Le informazioni riguardano 131 imprese, distribuite in modo sufficientemente equilibrato nelle fasce delle dimensioni minori (da 100 a 250 addetti: 53% del totale delle imprese), intermedie (da 250 a 500 addetti: 25%) e maggiori (più di 500 addetti: 22%). Tali imprese hanno effettuato interventi innovativi, investendo in nuovi impianti e sistemi di automazione e nell'informatizzazione della produzione. Un sottoinsieme di esse (47 unità, pari al 36%) ha inoltre innovato significativamente le procedure gestionali, in particolare introducendo tecniche del tipo *just in time*. I differenziali di prestazione che caratterizzano questo sottoinsieme consentono, dunque, una verifica circa l'amplificazione degli effetti che gli interventi non direttamente incorporati nella tecnologia possono indurre.

La Tabella 1 offre il quadro delle variazioni attinenti i diversi parametri di prestazione avvenute nei tre anni che hanno preceduto la ricerca (svolta nel 1988). La prima serie di parametri è direttamente correlabile, se pur non in modo del tutto rigoroso, alle variazioni di produttività dei diversi fattori produttivi. Si ha, anzitutto, la conferma degli effetti negativi indotti dalle innovazioni sull'occupazione. Per il totale delle imprese, l'incidenza media del costo del lavoro sul costo industriale del prodotto scende, pur con andamenti differenziati per le singole componenti. La variazione di gran lunga più significativa riguarda la manodopera diretta, la cui incidenza cala di oltre l'8%; tuttavia, diminuzioni presentano anche le incidenze del costo della manodopera indiretta (-3,2%) e, seppur lievemente, del costo del lavoro impiegatizio (-0,4%). Questi ultimi dati testimoniano a sfavore della tesi di una parziale

Tabella 1: Prestazioni ottenute con l'adozione di automazione computer based e di correlate innovazioni gestionali (a)

Prestazioni	Variazione nei parametri di prestazione (%)	
	Totale imprese	Adottatrici just-in-time
Incidenza sul costo del prodotto di:		
— costo della manodopera diretta	-8,4	-12,3*
— costo della manodopera indiretta	-3,2	-4,0
— costo del lavoro impiegatizio	-0,4	-3,1*
— costo dei materiali diretti	-0,3	-0,5
— ammortamenti	+2,8	+4,6
Rotazione scorte di materie prime	+10,9	+16,9*
Rotazione scorte di semilavorati	+11,7	+18,3*
Rotazione scorte di prodotti finiti	+12,4	+14,0
% di scarti del processo	-10,0	10,3
% tempi di rilavorazione/tempi lavorazione	-9,2	-12,6*
Frequenza di interventi in garanzia	-7,8	-7,6
Tempo medio di consegna	-13,0	-13,5
Ritardo medio di consegna	-12,0	-13,3
Tempo di industrializzazione prodotti	-8,1	-10,8
Numero di codici di prodotti a catalogo	+7,0	+10,7
Flessibilità al mix (N. massimo di prodotti realizzabili)	+8,4	+15,5*

(a) Campione di 131 imprese innovatrici. Le variazioni percentuali nei parmetri di prestazione sono relative al triennio 1986-1988. Sono indicati i valori medi delle variazioni osservate presso le imprese del campione.
(*) Indica che lo scostamento rispetto al dato riferito al totale delle imprese ha superato il test di significatività statistica.
Fonte: adattamento degli autori da Turco e Bartezzaghi (1989).

compensazione degli effetti di spiazzamento indotti dalle nuove tecnologie sull'occupazione diretta tramite l'aumento degli occupati in attività indirette che la gestione dei nuovi sistemi dovrebbe indurre.

Riguardo agli altri fattori produttivi, appaiono irrilevanti i risparmi di materiale diretto, la cui incidenza sul costo del prodotto scende dello 0,3%. Di maggiore interesse le informazioni relative all'incidenza del capitale fisso e circolante. L'unica eccezione al miglioramento generalizzato delle prestazioni del sistema produttivo è rappresentata dall'aumento degli ammortamenti sul costo del prodotto, come riflesso evidente dell'au-

mentata intensità di capitale fisso derivante dalle innovazioni introdotte. Sulla base della metodologia adottata e dei dati disponibili dalla ricerca, non è possibile stabilire se questo aumento ha rappresentato una diminuzione della produttività del capitale fisso, oppure semplicemente la conseguenza di una riduzione maggiore dell'input degli altri fattori produttivi per unità di prodotto, rispetto all'input di capitale. Tuttavia, comparativamente alle altre prestazioni, appare chiaro come non sia questa la direzione lungo cui ricercare significativi effetti *capital saving* delle nuove tecnologie *computer based*[1]. Questi ultimi effetti sono in realtà da porre prevalentemente in relazione, come ipotizzato nel Capitolo Primo, al miglioramento di produttività del capitale circolante. Gli indici di rotazione delle scorte presentano incrementi ragguardevoli, sia con riguardo alle materie prime (+10,9%), che ai semilavorati (+11,7%) ed ai prodotti finiti (+12,4%). Questi risultati sono espressione del miglioramento delle condizioni operative che l'AF, in qualità di razionalizzatore e riduttore dell'entropia del sistema produttivo, porta con sé: la riduzione del *lead time* interno e dei lotti di produzione incrementa la rotazione dei semilavorati, la riduzione dei lotti di approvvigionamento incrementa la rotazione delle materie prime, la migliore sincronizzazione tra produzione e mercato incrementa la rotazione dei prodotti finiti.

Prima di passare agli altri indicatori di prestazione, è importante osservare come l'intero blocco delle prestazioni connesse alla produttività dei fattori vede amplificate le tendenze ora evidenziate nel sottogruppo delle imprese che adottano il *just in time*. Tale innovazione gestionale è da intendersi sia come misura diretta dell'impegno dell'impresa nell'integrare l'investimento in tecnologia con correlate innovazioni gestionali, sia come *proxy* di una maggiore ampiezza e profondità del complesso delle innovazioni introdotte (sia incorporate che non). Al vaglio del *test* di Fisher, i differenziali statisticamente significativi concernono: l'incidenza del costo della manodopera diretta che scende del 12,3%; l'incidenza del costo del lavoro impiegatizio (-3,1%); la rotazione delle scorte di materie prime (+16,9%) e quella dei semilavorati (+18,3%).

In sintesi, si può affermare che l'AF, se pienamente valorizzata da interventi di riorganizzazione produttiva e dall'adozione di filosofie gestionali avanzate, porta con sé l'amplificazione degli «effetti forti» che la caratterizzano in termini di incremento sia della produttività del lavoro (incluso quello impiegatizio) che della produttività del capitale (circolante).

Tornando, infine, ai restanti parametri di prestazione, essi fanno riferimento a fattori di qualità, servizio e flessibilità[2].

I parametri di qualità concernono la conformità alle specifiche progettuali, sia all'interno dell'impresa (scarti del processo e tempi di lavorazione) che presso il cliente (assistenza in garanzia) e sono, a tutti gli effetti, riconducibili alla produttività totale e dei singoli fattori. Tuttavia, essi hanno anche un forte impatto sulla capacità di rispondere con adeguati standard qualitativi alle esigenze dei clienti. La tabella indica, per ciascuno dei tre indicatori, significativi miglioramenti.

I restanti parametri di servizio e di flessibilità introducono, seppure indirettamente, ai temi del miglioramento delle relazioni tra offerta e domanda e, perciò, della possibilità di generare, attraverso il miglioramento del servizio e la personalizzazione dei prodotti, una nuova domanda, più elastica al reddito. Il potenziale di cambiamento offerto dall'AF è testimoniato dai dati. La prontezza, intesa come capacità di soddisfare le esigenze di ordine temporale del cliente, è cresciuta, sia in termini di rapidità (-13% nel tempo medio di consegna) che di affidabilità (-12% nel ritardo medio di consegna rispetto a quanto promesso). La capacità di fare prodotti con specifiche particolari e dedicati al cliente aumenta, sia per le varianti previste — il numero di codici di prodotti finiti previsti a catalogo sale del 7% — che, soprattutto, per le varianti non previste — il tempo medio di industrializzazione di un nuovo prodotto, dal prototipo alla produzione normale, scende dell'8%. Infine, la flessibilità al *mix*, cioè la capacità di rispondere a variazioni della domanda dei singoli prodotti, nel rispetto del vincolo di una data capacità aggregata, cresce dell'8,4%, percentuale che raddoppia (+15,5%) nel caso di adozione delle tecniche *just in time*, grazie soprattutto all'abbattimento del tempo di riassortimento della gamma.

Dall'insieme di questi fenomeni micro-analitici è tuttavia difficile derivare gli effetti «macro» che le innovate capacità di risposta delle imprese al mercato possono avere, particolarmente in termini *demand inducing*. Appare, infatti, evidente come le imprese possano alternativamente usare tali capacità come leva competitiva nei confronti dei loro avversari sul mercato, in un giuoco a somma nulla, ovvero come strumento per fare emergere una domanda addizionale di prodotti, meno sensibile al fattore prezzo e più elastica al reddito. Il risultato aggregato degli incrementi di flessibilità e di efficienza innovativa dipenderà perciò sia dalla percezione che l'impresa ha delle opportunità aperte dalle nuove prestazioni del sistema produttivo, sia dalle condizioni generali del mercato e dalla sua capacità di assorbire gli eventuali stimoli di espansione della domanda. In proposito, alcuni elementi di valutazione potranno essere dedotti da quanto illustrato nel prossimo paragrafo.

3. *Le prestazioni dell'automazione flessibile: evidenza dei casi aziendali*

I riscontri emersi dallo studio delle imprese oggetto della ricerca, se non possono essere assunti a dimostrazione di orientamenti e caratteristiche generali del ricorso all'AF, possono essere utilmente impiegati per illustrare alcuni degli effetti più ricorrenti ed importanti indotti da tali tecnologie.

Fra gli effetti associati all'adozione dell'AF evidenziati nel precedente paragrafo, i rilievi indubbiamente più significativi sono quelli ascrivibili al risparmio del capitale circolante. La prerogativa dell'AF di costituire un fattore di «razionalizzazione» dei processi produttivi emerge dall'approfondimento delle applicazioni come una costante che accomuna le imprese studiate e, inoltre, testimonia del carattere intersettoriale di tali tecnologie di processo. In particolare, la riduzione del *lead time* e quella del *work in process* (WIP) indotte dall'AF possono essere considerate gli effetti che offrono i riscontri maggiormente «documentati», oltre che quelli più ricorrenti. Praticamente

tutte le imprese analizzate hanno evidenziato significativi miglioramenti nella gestione del capitale circolante, sia che le applicazioni delle tecnologie *computer based* investissero la sfera della produzione o coinvolgessero principalmente quella della progettazione. In termini economici la rilevanza della migliorata gestione del flusso produttivo è, del resto, facilmente intuibile quando si consideri che fra le imprese visitate l'attuale *lead time* associato alle produzioni considerate è risultato più che dimezzato rispetto a quello richiesto dai processi produttivi precedenti, suggerendo nella maggior parte dei casi performances ben superiori a quelle evidenziate dallo studio di Turco e Bartezzaghi (1989). Usag e Marzoli costituiscono altrettanti esempi di miglioramento nella gestione delle scorte, il cui conseguimento è direttamente imputabile all'automazione ed integrazione flessibile di singole fasi del processo produttivo. Nello specifico:

- per quanto attiene Usag, l'impresa ha potuto dimezzare il tempo di attraversamento richiesto per la produzione degli utensili (da una settimana a circa tre giorni). L'automazione integrata delle fasi di taglio e stampaggio a caldo ha consentito all'impresa di ovviare all'esigenza di un *buffer* intermedio per il materiale impiegato nelle due operazioni. Parimenti rilevanti sono risultati gli effetti per il WIP, le cui dimensioni si sono ridotte del 30% rispetto a quelle della precedente soluzione di tipo tradizionale;
- per quanto concerne Marzoli, l'impresa — una delle maggiori produttrici mondiali di telai tessili — ha potuto ridurre il tempo di attraversamento dei pezzi lavorati in officina da due mesi ad una sola settimana, cioè di oltre l'85%. Volendo indagare sulle ragioni specifiche di performances così elevate, si trovano nuovamente le conferme del carattere sistemico dell'AF e del suo ruolo di strumento razionalizzatore dei processi produttivi. Infatti, a fronte di un iniziale tempo macchina di effettiva lavorazione del pezzo pari al 5% di quello trascorso in officina (il restante 95% è tempo d'attesa), la razionalizzazione del flusso indotta dalle tecnologie computer based ha portato a rendere equivalenti il tempo di attesa e quello di lavoro in

senso stretto. In termini di WIP, il sistema flessibile — composto da 4 macchine — ha consentito a Marzoli un risparmio rispetto alla precedente soluzione tradizionale pari al 52%.

La verifica di differenziali positivi di performance per le imprese che in modo concomitante hanno introdotto innovazioni di processo di tipo sia tecnologico che organizzativo/gestionale, ha costituito uno degli aspetti di maggior importanza rilevati da Turco e Bartezzaghi (1989). A sostanziale conferma di ciò, fra le imprese studiate quelle adottatrici di forme di AF che contestualmente hanno saputo innovare la propria organizzazione, evidenziano miglioramenti nella gestione complessiva dei flussi produttivi, la cui rilevanza trascende le fasi specificatamente coinvolte per investire gran parte delle sfere di attività dell'impresa. I riscontri più interessanti emergono da quelle situazioni ove l'impresa ha saputo «sincronizzare» la propria «organizzazione esplicita» con l'«organizzazione implicita» delle tecnologie *computer based*. Lo specifico rapporto di concausa che lega l'adozione delle diverse configurazioni di AF alla riorganizzazione delle attività dell'impresa ha, in tal senso, costituito l'elemento comune alle esperienze più significative. Alcuni dei casi analizzati meritano una particolare attenzione sia per l'oggettiva rilevanza dei risultati conseguiti sia, soprattutto, per il carattere esemplificativo dell'articolazione degli effetti indotta dalla razionalizzazione dell'AF.

I risultati conseguiti da Astra — un'impresa di circa 700 addetti, specializzata nella produzione di veicoli per uso industriale — nel passaggio dall'impiego di macchine utensili tradizionali a quello di un sistema di AF, appaiono particolarmente eloquenti. All'interno del sistema flessibile adottato viene lavorato circa il 60% del prodotto del reparto macchine utensili, che equivale ad un valore mensile oscillante fra i 200 ed i 250 milioni di lire[3]. Per effetto dell'AF il *lead time* richiesto dalla lavorazione dei pezzi scende da 2 mesi a soli 15 giorni con conseguenze rilevanti per il capitale circolante. Nello specifico, la rotazione delle scorte da una cadenza quadrimestrale, cui corrisponde un immobilizzo medio pari a 400 milioni di lire, passa ad una mensile, con una giacenza media valutabile in 100

milioni di lire. Il carattere di razionalizzatore delle tecnologie *computer based* viene enfatizzato da quello che potrebbe apparire un paradosso a livello gestionale. Infatti, l'introduzione del sistema integrato ha inizialmente comportato la messa in discussione della gestione della produzione incentrata sulla lavorazione senza scarti (i pezzi inizialmente scartati vengono successivamente rilavorati), e successivamente l'abbandono di tale approccio. Le verifiche compiute avevano evidenziato come, mediamente, a fronte di una perdita pari a circa un milione di lire per materiale e prodotti difettosi, l'impresa poteva risparmiare circa 10 milioni di lire tralasciando di rilavorare gli scarti.

Non meno significativi sono risultati i risparmi indotti sul capitale circolante dall'impiego dell'AF e dall'adozione di nuovi criteri organizzativo/gestionali in Aermacchi. Gli effetti di razionalizzazione del processo produttivo legati all'impiego congiunto delle tecnologie *computer aided* e delle macchine operatrici a CNC risultano crescentemente evidenti man mano che ci si sposta lungo le fasi a valle della progettazione. Il complessivo miglioramento degli indici di rotazione emerge infatti come il risultato della diminuzione dei costi di controllo delle produzioni, di quelli indotti dalle rilavorazione dei prodotti, nonché di quelli associati all'abbattimento dei tempi necessari per approntare l'attrezzistica necessaria al processo produttivo.

Il ricorso a macchine utensili a CNC nella produzione dei componenti destinati a costituire l'intelaiatura del velivolo, ha corrisposto ad una piccola rivoluzione nella politica seguita da Aermacchi per l'approvvigionamento degli input necessari al processo produttivo. Nello specifico, componenti la cui complessità strutturale veniva in precedenza risolta con l'acquisto di semilavorati ottenuti per pressofusione, con significativi vincoli di programmazione ed aggravi economici, vengono attualmente prodotti direttamente dalle macchine a CNC. Pur trascurando i vantaggi associati alla riduzione dei tempi complessivi del ciclo di produzione non più dipendenti da quelli richiesti per la pressofusione[4], i positivi effetti per il capitale circolante divengono del tutto evidenti quando si consideri che il ricorso

a blocchi standardizzati di materiale grezzo in sostituzione di semilavorati, oltre all'implicita maggior varietà di prodotti cui può dar luogo, comporta per l'impresa un minore investimento in scorte, nonché costi inferiori per quanto concerne il controllo di qualità in entrata. Ultimo, ma certamente non meno importante, il costo del prodotto lavorato alle macchine a CNC, pur comportando sfridi pari anche al 90% del materiale di partenza, risulta comunque inferiore a quello del pressofuso.

Analogamente rilevanti per il *lead time* risultano gli effetti indotti dall'«integrazione informatica» nelle operazioni di taglio delle lamiere. Il processo tradizionalmente seguito dall'impresa aeronautica — basato sulla produzione di dime da impiegare per il taglio delle lamiere — comportava una giornata di lavoro in quanto la definizione del pezzo prevedeva: (a) il disegno su «lucido»; (b) la sua fotografia; (c) lo sviluppo su lamiera; (d) l'approntamento della dima. Attualmente il taglio della lamiera è svolto direttamente dalla macchina a CNC, cui il CAD traferisce il modello matematico del pezzo da eseguire. L'intera operazione richiede complessivamente circa 30 minuti, il che equivale ad una riduzione del tempo precedentemente richiesto (circa un giorno) di oltre un ordine di grandezza.

Riduzione di *lead time* e WIP accomunati ad ampie riorganizzazioni della logistica e delle modalità gestionali, emergono in modo esplicito anche dall'analisi delle applicazioni dell'AF destinate alle attività di montaggio/assemblaggio svolte dalle grandi imprese appartenenti alle filiere dell'elettronica-informatica e delle telecomunicazioni. Le applicazioni in Olivetti e Telettra offrono in tal senso altrettante testimonianze delle potenzialità delle tecnologie *computer based*, quali innovazioni in grado di migliorare contemporaneamente la produttività di capitale e lavoro, di creare cioè i presupposti per innestare un processo di crescita armonizzata capace di assorbire gli effetti di *displacement* tecnologico. I riscontri forniti dall'esperienza di Olivetti nella produzione delle macchine da scrivere e da quella di Telettra nella produzione di ponti radio offrono interessanti indicazioni relativamente alle trasformazioni ed agli effetti indotti sulla gestione complessiva delle attività produttive. Le applicazioni dei sistemi di AF di

montaggio/assemblaggio adottate dalle due imprese risultano particolarmente significative in ragione delle interrelazioni evidenziate nei confronti dell'eterogenea sfera della logistica, dalla gestione dei magazzini dei componenti in entrata, a quella della loro movimentazione a quella del flusso di alimentazione dell'intero processo.

Nel caso di Olivetti la scelta dell'adozione nello stabilimento di Crema di sistemi di AF per l'assemblaggio delle macchine da scrivere ha avuto ripercussioni su tutte le attività collegate a tale fase. L'introduzione del sistema flessibile di assemblaggio ha richiesto la riprogettazione dell'intero ciclo produttivo in modo da permettere la razionalizzazione dell'afflusso dei diversi componenti alla linea di assemblaggio[5]. Ancor prima che in risultati concreti gli effetti delle tecnologie *computer based* si colgono nella scelta di un nuovo approccio gestionale che si incentra, da un lato, nell'orientamento alla *stockless production* e, dall'altro, nella realizzazione di un magazzino automatico, entrambi intesi come premesse necessarie all'organizzazione dei flussi interni ed al conseguente pieno sfruttamento dei vantaggi — sia incorporati che non — delle nuove tecnologie di processo.

In termini di capitale circolante, i benefici per l'attività svolta presso lo stabilimento di Crema ascrivibili all'adozione dell'AF e delle corrispondenti innovazioni organizzative, sono sintetizzabili nella riduzione dei tempi di attraversamento che, nel caso delle macchine per scrivere, sono scesi dai 26 giorni necessari all'organizzazione tradizionale della produzione (relativa al 1986) ai 9 giorni richiesti dall'odierna configurazione automatizzata dello stabilimento di Olivetti. Altrettanto significativa la riduzione del WIP, che risulta attualmente inferiore al dato relativo al 1984 di circa il 30%. Inoltre, a dispetto della rilevanza degli effetti già registrati, occorre segnalare come il management di Olivetti si sia proposto di conseguire perfomance ancor più elevate, suggerendo quindi l'esistenza di margini per ulteriori miglioramenti. In tal senso, con riferimento agli input produttivi, è interessante rilevare come nel caso dei giorni di copertura richiesti a garanzia del normale svolgimento delle attività, l'impresa si sia prefissa di ridurre tale periodo a 21 giorni, pur avendo già diminuito la copertura

originaria portandola da 45 a 30 giorni. Il confronto per un prodotto ipotetico fra il tempo di copertura richiesto dalla produzione tradizionale e quello previsto per la versione automatizzata dello stabilimento di Crema (Tabella 2) risulta particolarmente significativo, in quanto pone in evidenza i margini di miglioramento indotti dall'introduzione delle tecnologie *computer based* e dalle nuove tecniche gestionali nelle diverse fasi di attività dello stabilimento. La riduzione da 4,7 a 1,8 giorni del periodo di copertura associato alla produzione della «piastra elettronica», che costituisce la nuova mente della macchina per scrivere elettronica, di quella da 7 a 4,8 giorni nel caso del montaggio di quest'ultima e, infine, da 26 a 9,9 giorni del periodo di giacenza del materiale non richiedono ulteriori commenti[6].

Tabella 2: Input richiesti in termini di giorni di copertura per la produzione di un'ipotetica macchina per scrivere, prima e dopo l'introduzione dell'AF

Fasi coinvolte	Giorni di copertura richiesti	
	Tecnologia tradizionale	Automazione flessibile
Officina meccanica	4,3	4,3
Produzione piastra elettronica	4,7	1,8
Montaggio	7	4,8
Giacenze	26	9,9
Extra	3	—
Totale	45	20,8

Fonte: Indagine sul campo.

Nel caso di Telettra il ricorso alle tecnologie *computer based* assume i caratteri di un processo che investe l'intera struttura dell'impresa ed il cui obiettivo è lo sviluppo del CIM e l'integrazione informatica delle attività svolte sia a livello infra- che inter-stabilimento. La relazione di concausa che lega la scelta delle diverse soluzioni di AF a quella dell'assetto organizzativo è più che mai esplicita e si rispecchia nella globalità degli effetti indotti. Le positive conseguenze del processo di razionalizzazione avviato da Telettra sono in tal senso riconducibili all'insieme di innovazioni introdotte lungo

l'intero ciclo produttivo, dal contatto con i clienti alla progettazione delle apparecchiature, dagli acquisti dei componenti sino al collaudo finale. L'automazione viene vista come un presupposto, come uno strumento atto a consentire un più ampio processo di riorganizzazione dell'attività dell'impresa, che poggia sulla razionalizzazione delle fasi dell'intero ciclo produttivo. Alla luce di ciò appare chiaro come anche gli effetti sul capitale circolante si intreccino strettamente con la scelta di ridurre complessivamente il *time to market* del 50%[7]. In particolare, per quanto riguarda l'obiettivo di ridurre del 50% il capitale circolante, cui vengono associati minori oneri per investimenti, obsolescenze e *handling* dei beni, esso viene perseguito dall'impresa operando principalmente sui magazzini interoperazionali e sulle lavorazioni in corso[8]. Le scorte precedentemente dimensionate per «coprire» un mese di attività, nonché distribuite immediatamante ai magazzini delle linee di montaggio, sono attualmente determinate sulla base di un periodo di copertura dimezzato, ridotto cioè a 15 giorni, mentre la loro immissione in «linea» ha assunto cadenza giornaliera.

Un ulteriore esempio degli effetti di razionalizzazione delle tecnologie *computer based* rilevati da Telettra nel caso dell'applicazione ad una specifica fase del ciclo produttivo è, infine, fornito dall'introduzione di un sistema di AF per le lavorazioni meccaniche[9]. I risparmi annui conseguiti da Telettra in termini di WIP per quanto concerne le sole lavorazioni compiute dal sistema di AF sono pari a circa 75 milioni di lire.

Le applicazioni di tecnologie *computer based* analizzate offrono, infine, alcuni esempi significativi dei miglioramenti indotti sulle «componenti strategiche» della produzione, sia che si consideri il loro impiego nella sfera produttiva o, viceversa, in quella progettuale. In tal senso, il miglioramento dei parametri che, direttamente od indirettamente, sono riconducibili alla valutazione dei rapporti fra l'impresa e l'ambiente in cui opera — quali la qualità di prodotti e servizi o la flessibilità e/o la velocità di risposta alle istanze della domanda — è

considerato dal management delle imprese studiate come uno degli aspetti dell'attività industriale cui l'AF ha fornito un valido contributo.

Per quanto concerne in particolare la qualità delle produzioni il suo miglioramento, pur essendo un rilievo «qualitativo» comune a tutte le imprese studiate, evidenzia nel caso di Telettra e di Aermacchi una dimensione significativa anche dal punto di vista «quantitativo». Infatti, se l'impresa delle telecomunicazioni attraverso l'adozione delle innovazioni tecnologico-organizzative si è posta come obiettivo di ridurre del 30% l'esigenza di «rilavorazioni» nella produzione delle piastre elettroniche, nel caso di Aermacchi l'adozione delle tecnologie *computer based* ha consentito all'impresa di dimezzare in fase di montaggio i tempi richiesti dall'«aggiustaggio» dei componenti da assemblare. È inoltre interessante notare come la possibilità di definire margini di tolleranza sempre più ristretti nonché di standardizzare la qualità del prodotto, impliciti nel ricorso alla modellizzazione matematica ed al suo carattere «oggettivante», siano divenuti il presupposto non solo della reciproca compatibilità fra le diverse componenti del velivolo prodotte internamente all'impresa, ma anche di quella richiesta per la produzione di aerei sviluppati congiuntamente con altre imprese del settore. In tal senso, l'adozione delle tecnologie *computer based* nella sfera progettuale è divenuto per Aermacchi lo strumento in grado di consentire «comunicazioni oggettive» sia all'interno con la sfera produttiva, che all'esterno con le analoghe strutture di progettazione di altre imprese del settore[10].

Per quanto concerne i rapporti fra l'impresa ed il mercato, i miglioramenti in termini di flessibilità, di prontezza e di rapidità di risposta alle esigenze della domanda costituiscono aspetti percepiti in modo diffuso dalle imprese analizzate. Oltre all'implicita evidenza fornita dal citato dimezzamento del *time to market* nel caso di Telettra, meritano di essere ricordate le nuove performance consentite dall'AF a Somet. Il sistema adottato ha infatti consentito all'impresa del meccano-tessile di ridurre la dimensione dei lotti senza variare i tempi complessivi del ciclo produttivo.

I riscontri sinora ricordati hanno nel complesso evidenziato il raggiungimento di una certa maturità nell'impiego efficiente delle tecnologie *computer based*. Le imprese mostrano di aver chiaramente percepito il carattere di strumento razionalizzatore dell'AF, la sua valenza di riduttore dell'entropia del sistema, cioè di averne, in ultima istanza, assimilato i potenziali vantaggi competitivi. Ciò che, viceversa, appaiono essere fenomeni non ancora completamente «scoperti» dalle imprese studiate, sono le potenzialità offerte dalle tecnologie *computer based* quali strumenti per fare emergere una nuova domanda di prodotti. La possibilità di effetti *demand inducing* da associare all'adozione dell'AF è infatti emersa dalle interviste effettuate come una percezione ancora da razionalizzare o come un'eventualità non investigata. I managers delle imprese coinvolte dalla ricerca, allo sforzo di migliorare l'efficienza innovativa delle proprie strutture, pur riconosciuta teoricamente interessante, hanno generalmente preferito la più pragmatica ricerca di crescenti livelli di efficienza adattativa.

La limitata numerosità dei casi studiati non può tuttavia condurre a considerazioni di natura totalmente pessimistica in merito alla consistenza ed all'estrinsecarsi del potenziale di crescita della domanda insita nelle nuove tecnologie. A stemperare la valutazione negativa contribuisce l'evidenza empirica cui si fa riferimento nel prossimo paragrafo.

4. *Gli orientamenti delle imprese verso l'automazione flessibile*

Come è stato più volte sottolineato, l'attivazione nel sistema economico di circuiti virtuosi che favoriscano alfine la crescita dell'occupazione o, perlomeno, bilancino l'impatto negativo su quest'ultima di una serie di effetti direttamente misurabili, dipende dall'atteggiamento che le imprese assumono rispetto all'automazione *computer based*. In particolare, il prevalere di un orientamento tradizionale, retaggio delle passate forme di meccanizzazione e tale da assolutizzare come obiettivo per l'investimento in automazione la riduzione o il contenimento

del costo del lavoro, non può che limitare l'esplicarsi delle potenzialità *capital saving* e *demand inducing* cui si è fatto più volte menzione.

Collegandosi alla discussione circa l'evidenza prodotta in proposito dai casi aziendali, appare utile, in chiusura del Capitolo, proporre un'analisi delle prevalenti condotte delle imprese adottatrici di forme avanzate di AF (sistemi flessibili sia di produzione che di progettazione), così come deriva da un'ulteriore indagine condotta presso il Politecnico di Milano (Mariotti et al., 1989). L'indagine concerne un campione di 103 imprese metalmeccaniche ed analizza l'approccio strategico di quest'ultime nei confronti dell'AF, attraverso lo studio comparativo degli obiettivi perseguiti con l'adozione dei nuovi sistemi.

La ricerca mostra come gli obiettivi cui le imprese attribuiscono maggiore peso rimangano nell'alveo dell'efficienza statica tradizionalmente intesa (Tabella 3). L'obiettivo di ridurre i costi di produzione tramite un aumento della produttività del lavoro (con o senza riduzione netta degli addetti) assume in media un peso di oltre 28 dei 100 punti disponibili alle imprese per esprimere l'importanza relativa delle diverse motivazioni d'adozione. A ciò si aggiunge, con un peso di quasi 16 punti,

Tabella 3: Motivazioni all'introduzione dell'automazione flessibile, ripartizione percentuale (a)

	Importanza relativa %
Riduzione netta degli addetti	14,51
Aumento della produttività di lavoro e impianti	13,63
Miglioramento della qualità del prodotto	15,65
Razionalizzazione del processo produttivo (riduzione scorte e work in process)	13,93
Miglioramento del servizio ai clienti	14,34
Diversificazione/innovazione del prodotto e/o del mercato	18,11
Riorganizzazione dei rapporti fornitori/clienti	7,88
Altro	1,95
Totale	100

(a) Il campione analizzato è composto da 103 imprese.
Fonte: Mariotti et al. (1989).

l'obiettivo di migliorare la qualità del prodotto, il quale, sebbene abbia implicazioni diverse dalla riduzione dei costi, è riconducibile ad una nozione statica di efficienza (aumento del valore prodotto per unità di capitale e/o di lavoro).

Trova conferma, peraltro, come le imprese abbiano correttamente percepito una serie di potenzialità offerte dai nuovi sistemi in termini di efficienza adattativa, siano esse incorporate negli impianti adottati o associate alle innovazioni gestionali chiamate in causa dalla loro adozione. Ciò ha riscontro nel peso attribuito allo sviluppo di meccanismi adattativi che riducano i costi di interfaccia tra produzione e mercato ed i costi di gestione indotti all'interno dell'impresa dalla variabilità e dall'incertezza ambientale. La razionalizzazione del processo produttivo (14 punti) comporta la riduzione dei costi «entropici» (scorte, WIP, ecc.) ed una maggiore efficienza dell'intero circuito logistico dell'impresa; il miglioramento del servizio reso al cliente (14 punti) corrisponde prevalentemente alla riduzione dei tempi di consegna e, più in generale, del *time to market*, grazie all'abbattimento dei tempi di progettazione ed al contenimento del *lead time* in produzione.

Tra gli obiettivi perseguiti trovano, tuttavia, uno spazio non trascurabile anche quelli di diversificazione e di innovazione del prodotto/mercato, che assumono un peso medio di 18 punti, ad enfatizzare le opportunità offerte dalla tecnologia per condotte innovative basate sulla ridefinizione degli ambiti di mercato, nonché delle modalità e dei fattori di successo della competizione. Residuano, con circa 8 punti percentuali, gli obiettivi di riorganizzazione dei rapporti a monte e a valle con fornitori e clienti, ai fini di una minore dipendenza strategica da essi e/o di una armonizzazione delle procedure e degli standard.

Il quadro comparativo degli obiettivi perseguiti consente, dunque, di avanzare l'ipotesi che l'adozione di AF cominci ad essere percepita, seppure in modo ancora nettamente subordinato agli obiettivi più tradizionali, come possibile supporto a strategie complesse di mercato. Peraltro, i risultati generali si

differenziano in funzione delle principali variabili di strategia-struttura delle imprese e del grado di sofisticazione tecnologica dei sistemi adottati (Tabella 4).

L'obiettivo della riduzione dei costi di produzione tramite aumento del prodotto per addetto accomuna tutte le imprese, indipendentemente dal profilo dimensionale e dal posizionamento sul mercato; tuttavia, dal punto di vista delle tipologie tecnologiche, il peso attribuito a tale obiettivo da parte delle imprese che limitano l'adozione alla sola sfera della produzione è nettamente superiore.

L'obiettivo di miglioramento della qualità del prodotto è enfatizzato dalle imprese minori e, soprattutto, dalle imprese che operano prevalentemente in subfornitura, coerentemente al fatto che esse fanno delle problematiche della qualità del prodotto — soprattutto in termini di conformità agli standard — un importante fattore del successo competitivo.

Gli obiettivi di miglioramento dell'efficienza adattativa sono premiati dalle imprese maggiori e con sbocchi di mercato autonomi, particolarmente con riguardo ai fattori concernenti i processi di razionalizzazione del ciclo produttivo e logistico. Da un lato, tale risultato è da ascrivere agli imperativi di flessibilizzazione delle strutture produttive che in questi anni si sono posti alle imprese maggiori più che alle unità minori, le quali godono da sempre di una «tradizionale» flessibilità, basata sulla maggiore malleabilità del fattore lavoro e sul minore investimento in capitale fisso. Dall'altro lato, esso è di certo il risultato delle maggiori consapevolezza e capacità di appropriazione che le grandi imprese manifestano rispetto alle opportunità date dall'AF in termini di performance adattativa, grazie al più facile accesso alle informazioni ed alle risorse complementari — tecniche e manageriali — necessarie per valorizzare in tal senso l'investimento in AF.

Gli obiettivi di diversificazione e di innovazione del prodotto/mercato appaiono anch'essi enfatizzati dalle imprese con presenza autonoma sul mercato, in diretta connessione alle loro superiori capacità nell'esplorare le opportunità di mercato e nel rendere viabili le relative strategie commerciali. Essi sono inoltre nettamente sospinti dall'adozione delle soluzioni tecno-

Tabella 4: Motivazioni prevalenti all'adozione di AF in relazione alle caratteristiche delle imprese e della tecnologia

Caratteristiche delle imprese	Motivazioni addotte dal campione di imprese				
	Efficienza statica		Efficienza adattativa	Efficienza dinamica	Efficienza «transazionale»
	Riduzione dei costi unitari di produzione con o senza riduzione degli addetti	Miglioramento della qualità del prodotto	Razionalizzazione del processo e miglioramento dei servizi ai clienti	Diversificazione/innovazione di prodotto e/o mercato	Riorganizzazione dei rapporti fornitori/clienti
Classe dimensionale	Tutte	Piccole	Grandi	Tutte	Piccole
Principale destinazione della produzione	Mercato finale e subfornitura	Subfornitura	Mercato finale e subfornitura	Mercato finale	Mercato finale e subfornitura
Configurazioni tecnologiche adottate	AF in produzione	Tutte	Tutte	Integrazione forte	AF in progettazione

Fonte: Mariotti et al. (1989).

logiche più complesse e sofisticate, comportanti l'integrazione sistemistica tra le fasi della progettazione e della produzione.

Infine, l'enfasi verso le problematiche transazionali è maggiore per le piccole imprese e, soprattutto, cresce nettamente nel caso di adozione di sistemi di progettazione, grazie alle prerogative di questi nel favorire l'uso polivalente degli impianti e la loro capacità di adattamento a differenti specifiche progettuali, riducendo in tal modo la dipendenza bilaterale tra fornitore e utente.

Traspare, dunque, un quadro composito di propensioni e approcci che dimostra la varietà dei «sentieri d'automazione» che le imprese seguono nell'esplorare le opportunità aperte dalla nuova tecnologia. A tali sentieri è necessario fare riferimento per trarre una serie di conclusioni prospettiche circa l'impatto atteso per il futuro da una più pervasiva diffusione delle innovazioni che conducono verso la fabbrica automatica.

Note

[1] Si ricorda l'ipotesi avanzata da Soete-Dosi, illustrata nel Capitolo Primo.

[2] Per un'inquadramento metodologico e per una puntuale illustrazione dei diversi indicatori si rinvia a Turco e Bartezzaghi (1989).

[3] È interessante rilevare come il sistema adottato, composto da 3 macchine utensili, sostituisca 25 macchine utensili tradizionali. Scontato l'incremento della produttività associato a: (a) l'evoluzione tecnologica delle macchine; (b) l'azzeramento dei tempi di riattrezzaggio (il tempo macchina coincide quindi con quello di lavorazione); (c) la capacità delle macchine di operare per tutte le 24 ore giornaliere; ciò che dona un rilievo assoluto alle prestazioni del sistema di AF, evidenziandone inoltre gli effetti sistemici, è il confronto con la capacità produttiva delle precedenti 25 macchine utensili e, soprattutto, con quella di 3 macchine equivalenti impiegate in configurazione *stand alone*, cioè non integrate. Risulta infatti che il sistema integrato di AF presenti una capacità produttiva superiore a quella delle precedenti macchine utensili del 50%, e del 30% rispetto all'ipotetica soluzione basata sull'impiego non integrato delle 3 macchine attuali.

[4] Occorre rilevare come la specifica attività di pressofusione, dati gli elevati standard qualitativi richiesti dall'aerospazio, viene svolta da imprese specializzate, i cui *skills* garantiscono loro un consistente potere contrattuale, tale perlomeno da consentire una programmazione della produzione scarsamente influenzata dalle esigenze contingenti dei clienti.

[5] La trasformazione tecnologica della macchina da scrivere si rispecchia nell'evoluzione dei componenti impiegati, ove elettronica e materiali plastici hanno progressivamente sostituito le parti meccaniche. Pur riconducibile alla

gestione di 4 componenti fondamentali, l'assemblaggio della macchina per scrivere richiede al sistema un elevato grado di flessibilità sia per tener conto delle variabili di ogni componente (nel caso della tastiera le soluzioni sono 53) sia per tener conto della loro provenienza (produzione interna *vs.* acquisto da fornitori e relative problematiche connesse alla gestione delle scorte).

[6] L'invarianza che caratterizza i dati di copertura relativi alle lavorazioni in officina sconta il fatto che l'introduzione di macchinari *stand alone* di AF in tale area produttiva è avvenuta in tempi antecedenti a quelli utilizzati per la comparazione.

[7] Nel caso degli apparati semplici, per cui sono teoricamente necessarie circa 42 settimane, l'obiettivo primario è di ridurre l'intero ciclo industriale a circa 21 settimane. Il risultato è rilevante se si considera che investe il 60% dei prodotti dell'impresa.

[8] L'importanza della riduzione del capitale circolante per un'impresa di telecomunicazioni qual è Telettra appare del tutto evidente quando si consideri che l'incidenza della voce materiali diretti sfiorava nel 1987 il 70% del costo medio associato ad alcune tipologie di prodotto.

[9] Pur costituendo un fatto apparentemente «anomalo» per un'impresa delle telecomunicazioni occorre rilevare come per tipologie di prodotto, quali i ponti radio, la componente meccanica è rilevante, potendo essere pari anche al 30% del costo complessivo di un apparato.

[10] Occorre ricordare come i ritmi dell'evoluzione tecnologica nell'aerospazio e degli impliciti costi per sostenerli hanno indotto le imprese del settore alla creazione di consorzi internazionali per poter sostenere lo sviluppo di nuovi aerei. Nell'adesione di Aermacchi a consorzi internazionali (fra i quali quello europeo per lo sviluppo e la costruzione del caccia Tornado) è quindi possibile leggere un indubbio stimolo all'adozione delle tecnologie *computer based* al fine di consentire la standardizzazione della qualità del prodotto e, conseguentemente, rendere fra loro compatibili le parti del velivolo sviluppate e prodotte dalle diverse imprese.

Capitolo Quinto

CONSIDERAZIONI FINALI

1. *Premessa*

La ricerca ha indagato gli effetti sulla consistenza e sulla composizione della forza lavoro industriale che la diffusione delle forme avanzate di automazione *computer based* ha determinato o chiamato in causa, anche attraverso correlate innovazioni organizzativo-manageriali. La metodologia seguita denuncia un carattere apertamente «eclettico», in quanto basata sulla combinazione di analisi quantitative e qualitative, evidenze empiriche inerenti ampi campioni di imprese e scaturite da singoli casi aziendali, risultati sussunti da altre ricerche. Tuttavia, questa è parsa agli autori l'unica via per abbozzare alcune prime risposte e stabilire coordinate di riferimento per il dibattito economico e sociale che il tema porta con sé. A tali fini sono stati forse sacrificati schemi di analisi più compatti e rigorosi, la cui assunzione è resa peraltro problematica dalla complessità e dall'inafferrabilità dei fenomeni, particolarmente dal punto di vista dell'applicazione di modelli interpretativi chiusi e della misura delle variabili in giuoco. Le precedenti ricerche sul tema testimoniano, d'altro canto, questo stato dell'arte.

Definiti i limiti entro cui ci si è mossi, i risultati emersi dalla ricerca meritano alcune enfatizzazioni e considerazioni prospettiche.

2. *L'impatto sull'occupazione*

Anzitutto, l'esame comparato tra Italia ed altri paesi industriali circa la diffusione di mezzi e sistemi di AF indica che il nostro paese si colloca in una posizione intermedia. Esso è sopravanzato da Giappone, Germania Federale e Svezia, ma eguaglia o sopravanza paesi con grandi tradizioni industriali, quali Francia e Gran Bretagna.

Le conseguenze indotte dal processo diffusivo sull'occupazione debbono essere esaminate separatamente per le sfere della progettazione e della produzione.

L'introduzione dei sistemi *computer aided* in progettazione coinvolge un'area relativamente ristretta della forza lavoro nelle imprese. L'impatto sul livello occupazionale totale è dunque obiettivamente limitato. Inoltre, la ricerca ha mostrato come all'indubbio incremento di produttività nell'attività di disegnazione, il quale genera un potenziale di spiazzamento occupazionale, si associ spesso la dilatazione del ruolo e dello spessore strategico della progettazione, in diretto rapporto alle nuove opportunità create dalla tecnologia, per quanto concerne sia le politiche di prodotto-mercato che l'integrazione funzionale con le attività produttive. Quest'ultimo fenomeno controbilancia gli effetti negativi sull'occupazione.

Assai diversa la situazione in produzione. I livelli di diffusione di AF (sistemi ed unità *stand alone*) raggiunti dal paese nel corso del 1989 sono responsabili, secondo le stime derivate dall'indagine sul campo, di uno «spiazzamento» di addetti nell'industria metalmeccanica pari al 2,6% dell'intera forza lavoro. Questa percentuale misura l'incidenza della forza lavoro resa esuberante dall'introduzione dell'AF e non la disoccupazione effettivamente causata. Sebbene tra i due fenomeni vi sia una relazione, essa è mediata dalle opportunità di riassorbimento che il sistema economico è in grado di offrire alla forza lavoro eccedente. In termini del tutto generali, quest'ultima, infatti, può essere trasferita ad altre attività della stessa impresa adottatrice o trasferita ad altra impresa o resa libera sul mercato del lavoro o collocata a riposo (con l'uscita definitiva dal mercato del lavoro). Rapportando gli addetti spiazzati, nella quasi totalità operai, alla forza lavoro operaia, la percentuale sale a sfiorare il 4%, mentre se il dato è riferito all'insieme delle sole imprese adottatrici, lo spiazzamento sul totale degli addetti è di quasi il 10%.

Al lettore, le quantità coinvolte possono anche sembrare non particolarmente elevate, soprattutto se confrontate con gli

apocalittici scenari della fabbrica totalmente automatica. Tuttavia, una serie di qualificazioni e di valutazioni prospettiche induce ad una certa dose di preoccupazione.

In primo luogo, sebbene non siano state possibili misure quantitative, le evidenze prodotte dall'indagine supportano l'ipotesi che il segno degli effetti indotti sull'occupazione indiretta sia anch'esso negativo, nonostante la richiesta di nuove funzioni nell'area della manutenzione, del controllo e della gestione dei nuovi sistemi ed in aperta contraddizione con le valutazioni (e con le speranze) espresse da alcuni studiosi. Dalla ricerca trova particolare sottolineatura l'effetto razionalizzatore che l'AF porta con sé, chiamando in causa modifiche dell'organizzazione logistica e delle procedure gestionali (ad es., *just in time*), le quali producono un'innalzamento della produttività del lavoro sia diretto che indiretto, con la riduzione delle aree di intervento di quest'ultimo. Alla luce di questi fenomeni, è probabile che i dati forniti sottostimino lo spiazzamento totale degli addetti.

In secondo luogo, il quadro tracciato è soggetto a rapida evoluzione. I livelli di diffusione raggiunti in Italia comparativamente ai paesi più avanzati indicano che non sono all'orizzonte fenomeni di saturazione, e che, viceversa, rimane aperta una fase di crescita lineare o più che lineare delle adozioni di AF. Ciò vale per le apparecchiature *stand alone*, che hanno raggiunto in Italia tassi di adozione, rispetto alla totalità delle imprese industriali, che variano dal 5 al 7%, a secondo della tipologia tecnologica considerata, e, in misura maggiore, per i sistemi di produzione, i cui tassi non superano il 3%, anche nel caso delle soluzioni tecnologiche più semplici. La rapidità del processo di diffusione dipenderà da numerosi fattori, fra cui quelli connessi alla possibilità che l'offerta di sistemi trovi approcci e soluzioni standardizzate nell'hardware e nel software, simili a quelli sperimentati nel campo della progettazione *computer aided*. L'abbattimento del costo dei sistemi di progettazione è stato alla base dei più alti tassi di diffusione riscontrati per essi (oltre 14% per i CAD), anche se

nell'effettuare le comparazioni è bene tener conto dei diversi ordini di grandezza che gli investimenti in produzione ed in progettazione richiedono.

Alla luce di queste considerazioni e tenuto conto del duplice meccanismo della diffusione inter- e intra-impresa, uno scenario per nulla irrealistico è quello che vede un raddoppio nell'arco di un quinquennio della percentuale di spiazzamento degli addetti, sino a superare le soglie del 5% e dell'8%, se misurate, rispettivamente, sulla forza lavoro totale o sulla sola componente operaia. Tale incidenza e la rapidità del processo prospettano al sistema economico maggiori difficoltà che nel passato per assorbire in modo non traumatico le esuberanze prodotte.

Le preoccupazioni non si stemperano qualora si considerino gli effetti indotti in termini di competenze e profili professionali. Per la verità, le evidenze prodotte dalla ricerca in merito ai mutamenti qualitativi indotti dall'AF sulla forza lavoro sono assai meno determinate di quanto non lo siano quelle relative agli aspetti quantitativi. Questo risultato è comune a precedenti ricerche ed è da addebitare alla debolezza dei nessi di causalità esistenti tra adozione di AF ed evoluzione dei contenuti e dei profili professionali, essendo questi ultimi fortemente condizionati dalle specifiche modalità e scelte organizzative delle imprese adottatrici. Comune denominatore degli studi è che i requisiti di base connessi al nuovo paradigma dell'AF comportano una modifica del *background* culturale degli operatori — da un cultura meccanica ad una informatica —, nonché la progressiva marginalizzazione delle abilità manuali a favore di quelle logiche, simboliche, di astrazione e di rappresentazione mentale del processo produttivo. L'accordo, tuttavia, evapora quando da tali affermazioni generali si passa a valutare l'evoluzione dei contenuti di professionalità. Pur con un doveroso invito alla cautela circa la loro generalizzazione, i risultati della ricerca offrono elementi conoscitivi e spunti di un certo interesse. Non pare, anzitutto, proponibile un modello generale di *skill-upgrading* della forza lavoro, dettato dalla presunta riappropriazione di funzioni progettuali e gestionali da parte degli operatori diretti. Nell'area della produzione sem-

brano prevalere, all'opposto, fattori di *deskilling*, poiché il patrimonio di capacità e di abilità del tradizionale operatore alla macchina, da un lato, si incorpora in misura crescente nell'intelligenza informatica dei mezzi automatici e, dall'altro lato, si trasferisce a monte nella sfera della progettazione e dei tecnici informatici. In questa area paiono concentrarsi i maggiori effetti di *upgrading* professionale. Tali effetti, tuttavia, coinvolgono un numero di quadri tecnici e dirigenti relativamente ristretto rispetto all'insieme dei «colletti bianchi», la cui incidenza è peraltro cresciuta significativamente sul totale della forza lavoro occupata.

Lo scenario generale vede prevalere processi di aggiustamento, per ora senza l'emergere di discontinuità nei contenuti professionali tali da creare drammatici *gaps* tra domanda e offerta di lavoro. Tuttavia non sono da escludere squilibri «localizzati» per specifiche figure a più elevato contenuto professionale. Soprattutto, gli effetti attesi appaiono articolati e di vario segno, ma di certo non univocamente nel senso di un significativo e diffuso incremento dei posti di lavoro a più alta qualificazione ed a contenuto del lavoro più intellettuale, come previsto da alcuni approcci «ottimistici».

3. *Il nuovo potenziale di sviluppo*

L'integrale delle tendenze quantitative e qualitative ora illustrate getta ombre di valenza sociale negativa sul rapporto che si viene instaurando tra tecnologia, organizzazione ed occupazione. Tuttavia, la ricerca ha posto in luce come il nuovo paradigma dell'AF offra prerogative d'uso dei fattori produttivi e di sollecitazione dei consumi profondamente diverse dalle tradizionali forme di meccanizzazione e di automazione rigida. Due aspetti emergono come dominanti: gli effetti *capital saving* e le potenzialità *demand inducing*.

La riduzione di capitale per unità di prodotto fa soprattutto riferimento alle voci del capitale circolante ed è il risultato dell'effetto razionalizzatore che i meccanismi cibernetici introdotti dall'AF comportano nell'adattamento e nella gestione delle

turbolenze interne ed esterne al sistema produttivo. I miglioramenti consentiti in termini di rotazione delle materie prime, semilavorati e prodotti finiti sono notevoli ed in testa nella graduatoria delle prestazioni ottenute con l'introduzione dei nuovi sistemi.

L'effetto *demand inducing* è correlato agli incrementi di flessibilità e di efficienza innovativa che l'AF consente, grazie al miglioramento del servizio, alla personalizzazione del prodotto, all'abbattimento di una serie di «costi di cambiamento» del processo-prodotto, nonché alla riduzione del *time to market* ed al miglioramento delle relazioni dinamiche tra offerta e domanda di mercato. Queste prestazioni possono favorire l'emergere di una nuova configurazione della domanda, con componenti addizionali ed in generale più elastica al reddito, particolarmente nelle economie più sviluppate.

È dunque possibile affermare che la diffusione dell'AF porta con sé un nuovo potenziale di sviluppo, in grado di attivare nel sistema economico meccanismi compensativi della riduzione della manodopera, con l'instaurarsi di circuiti virtuosi tra investimenti, produzione e consumo. Deve tuttavia essere sottolineato con forza come, affinché tale potenziale possa dispiegare i suoi effetti, non solo sia necessario un quadro di coerenze tra le grandezze macroeconomiche, ma soprattutto siano richiesti significativi mutamenti nei comportamenti degli agenti microeconomici. In particolare, le imprese debbono modificare sia la loro filosofia d'approccio al sistema di produzione, che deve essere valorizzato come leva strategica della competizione di mercato, in una visione integrata che superi la tradizionale dicotomia degli approcci *production* e *market oriented*; sia la prospettiva con cui esse guardano alle prestazioni dei nuovi sistemi di automazione, che deve andare al di là di una polarizzazione sugli aspetti *labour saving* della tecnologia.

Il verificarsi di tali cambiamenti comportamentali condiziona le modalità con cui le imprese esplorano le opportunità offerte dall'automazione *computer based*. Non esistono infatti traiettorie tecnologiche deterministiche, bensì una varietà di sentieri di automazione, pur all'interno di gamme di opzioni

consentite dalle prerogative paradigmatiche della tecnologia. Tali sentieri implicano differenti *biases* nell'uso dei fattori produttivi e nella generazione delle innovazione di prodotto-mercato e vengono selezionati e percorsi con modi e velocità che dipendono dalla strategia e dall'organizzazione delle imprese. Al proposito, la ricerca evidenzia come, se pur lentamente, siano in corso processi di apprendimento che favoriscono la ricerca-esplorazione delle traiettorie a più elevato potenziale di sviluppo.

Tuttavia, è opinione degli autori che, se si vuole evitare che l'ulteriore pervasiva diffusione delle nuove forme di automazione, soprattutto nella direzione delle piccole e medie imprese e nei settori con minori tradizioni tecnico-manageriali, finisca per rafforzare esclusivamente i *biases labour saving*, si rende necessaria l'accelerazione del cambiamento di cultura industriale. La questione rinvia agli ostacoli ed alle inerzie sociali ed economiche che ogni profondo mutamento, quale l'introduzione di un'innovazione radicale e pervasiva, trova di fronte a sé. Al riguardo, lo scenario internazionale mostra differenti propensioni e configurazioni di paese. Esse trovano origine, anzitutto, in modelli sociali ed istituzionali che hanno avuto diverso successo nello sviluppare armonicamente la dimensione tecnica e quella socio-organizzativa, coinvolgendo in misura più o meno ampia gli attori rilevanti del sistema. Ma le performance innovative di paese sono anche il frutto di politiche «strutturali» a sostegno della tecnologia, inerenti il sistema tecnico-scientifico, l'infrastrutturazione e lo sviluppo di servizi avanzati, il sistema educativo e la formazione professionale. È una pagina di storia e di prospettiva del nostro paese cui la presente ricerca non poteva dedicare attenzione. I risultati illustrati in queste pagine indicano la necessità che essa sia tenuta bene aperta, se si desidera che la trasformazione epocale del modello di industrializzazione, indotta dalle tecnologie dell'informazione, possa trovare adeguato riscontro nelle condotte e nelle strutture della società italiana.

Riferimenti bibliografici

AGLIETTA M., *Régulation et crises du capitalisme. L'expérience des Etats-Unis*, Calman-Levy, Paris, 1976.

ATTENBOROUGH N.G., *Employment and Technical Change: The Case of Microelectronics-based Production Technologies in UK Manufacturing Industry*, Department of Industry, Government Economic Service Working Paper, No 74, London, Department of Industry, 1984.

AYRES R.U., MILLER S.M., *Robotics: Applications and Social Implications*, Ballinger, Cambridge, MA, 1983.

BESSANT J., et al., *IT Futures: A Literature Review of Long-term Perspectives on the Social Implication of Information Technology*, Brighton, Brighton Polytechnic/Science Policy Research Unit, 1985.

BRAVERMAN H., *Labour and Monopoly Capital*, Monthly Review Press, New York, 1974.

BUTERA F., *Dalle occupazioni industriali alle nuove professioni*, Angeli, Milano, 1988.

CAINARCA G.C., *Il difficile percorso dell'automazione delle attività produttive. Il caso di un'impresa della cantieristica meccanica*, «Studi organizzativi», 1, 1987.

CAINARCA G.C., COLOMBO M.G., MARIOTTI S., *Innovazione e diffusione: il caso dell'automazione flessibile*, «L'industria», 4, 1987.

CAINARCA G.C., COLOMBO M.G., MARIOTTI S., *La dinamica diffusiva dell'automazione flessibile*, «Economia & Lavoro», 1, 1988.

CAINARCA G.C., COLOMBO M.G., MARIOTTI S., *An Evolutionary Pattern of Innovation Diffusion. The Case of Flexible Automation*, «Research Policy», 18, 1989a.

CAINARCA G.C., COLOMBO M.G., MARIOTTI S., *Sentieri di automazione ed evoluzione della struttura industriale*, in Barbetta G.P. e Silva F. (a cura di), *Trasformazioni strutturali delle imprese italiane*, Il Mulino, Bologna, 1989b.

CAINARCA G.C., COLOMBO M.G., MARIOTTI S., *Firm Size and the Adoption of Flexible Automation*, «Small Business Economics», 2, 1990.

CARLSSON B., *The Development and Use of Machine Tools in Historical Perspective*, «Journal of Economic Behavior and Organization», 5, 1984.

COLOMBO M.G. E MARIOTTI S., *Note economiche sull'automazione flessibile*, «Economia e Politica Industriale», 48, 1985.

COOLEY M., *Some Social Implications of CAD*, in MERMET J., (ed.), *CAD in Medium Sized and Small Industries*, North-Holland, Amsterdam, 1981.

DOSI G., *Technological Paradigms and Technological Trajectories*, «Research Policy», 11, 1982.

DOSI G. E MOGGI. M., *Diffusione delle tecnologie elettroniche ed evoluzione della struttura industriale contemporanea*, in BARBETTA P., SILVA F. (a cura di), *Trasformazioni strutturali delle imprese italiane*, Il Mulino, Bologna, 1989.

FLECK J., *The Employment Effect of Robots*, in LUPTON T. (ed.), *Proceedings of the First International Conference on Human Factors in Manufacturing*, IFS e North-Holland, Bedford, 1984.

FREEMAN C., SOETE L., *Information Technology and Employment: an Assessment*, Science Policy Research Unit, University of Sussex, Brighton, 1985.

FREEMAN C., SOETE L., *Technical Change and Full Employment*, Basil Blackwell, Oxford, 1987.

FREEMAN C., CLARK J.A., SOETE L., *Unemployment and Technical Innovation: a Study of Long Waves and Economic Development*, Frances Pinter, London, 1982.

GERSHUNY K., MILES I., *The New Service Economy. The Transformation of Employment in Industrial Societies*, Frances Pinter, London, 1983.
GOLD B., *Technological Diffusion in Industry: Research needs and Shortcomings*, «Journal of Industrial Economics», 3, 1981.
HOLLARD M., MARGIRIER G., *Integration des equipements et evolution de l'organisation du travail dans les ateliers*, IREP-Developpement, Université des Sciences Sociales de Grenoble, Grenoble, 1987.
HUNT H.A., HUNT T.L., *Human Resource Implications of Robotics*, W.E. Upjohn Institute for Employment Research, Kalamazoo, Michigan, 1983.
JELINEK M. E GOLDHAR J.D., *The Strategic Implications of the Factory of the Future*, «Sloan Management Review», Summer, 1984.
KAPLINSKY R., *Firm Size and Technical Change in a Dynamic Context*, «Journal of Industrial Economics», 1, 1983.
KAPLINSKY R., *Micro-electronics and Employment Revisited. A Review*, International Labour Office, Geneva, 1987.
KATSOULACOS Y.S., *The Employment Effect of Technical Change*, Wheatsheaf Books, Brighton, 1986.
KELLEY M.R., BROOKS H., *The State of Computerized Automation in U.S. Manufacturing*, Center for Business & Government-Harvard University, Boston, 1988.
KOSHIRO K., *The Employment Effects of Micro-electronics Technology*, «Japan Labor Bulletin», Japan Institute of Labor, Tokyo, 1983.
LEONTIEF W.W., DUCHIN F., *The Future Impact of Automation on Workers*, Oxford University Press, New York, 1986.
MANSFIELD E., *The Diffusion of Industrial Robots in Japan and the United States*, «Research Policy», 18, 1989.
MARIOTTI S., CAINARCA G.C., COLOMBO M.G., RAIMONDI A., *L'impatto dei sistemi di automazione flessibile sulla struttura industriale e sui rapporti fra imprese*, Politecnico di Milano-MIP-Mediocredito Lombardo, Milano, 1989.
MOMIGLIANO F., *Innovazione tecnologica, commercio internazionale e investimenti diretti esteri: vecchi e nuovi problemi di teoria e di ricerca empirica*, in MOMIGLIANO F., DOSI G., *Tecnologia e organizzazione industriale*, Il Mulino, Bologna, 1983.
NELSON R.R., WINTER S.G., *In Search of Useful Theory of Innovation*, «Research Policy», 6, 1977.
NOBLE D., *Social Choice in Machine Design: The Case of Automatically Controlled Machine Tools*, in ZIMBALIST A. (ed.), *Case Studies in the Labour Process*, Monthly Review Press, New York, 1979.
NOBLE D., *Forces of Production: A Social History of Machine Tool Automation, Knopf*, New York, 1984.
OECD, *Microelectronics, Robotics and Jobs*, Paris, 1982.
OECD, *New Technologies in the 1990s. A Socio-economic Strategy*, Paris, 1988.
PEREZ C., *Structural Change and Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems*, «Futures», 15, 1983.
PIORE M.J., SABEL C.F., *The Second Industrial Divide. Possibilities for Prosperity*, Basic Books, New York, 1984.
ROOBEEK A.J.M., *De rol van de technologie in de economische theorievorming*, Scheltema Holkema Vermeulen, Amsterdam, 1987a.
ROOBEEK A.J.M., *The Crisis in Fordism and the Rise of a New Technological Paradigm*, «Futures», April, 1987b.
SKINNER W., *Manufacturing and Technological Strategy*, «Journal of Business Strategy», 4, 1983.

SKINNER W., *Manufacturing: the Formidable Competitive Weapon*, John Wiley, New York, 1985.
SOETE L., DOSI G., *Technology and Employment in the Electronic Industry*, Frances Pinter, London, 1983.
SORGE A. et al., *Micro-electronics and Manpower in Manufacturing: Applications of Computer Numerical Control in Great Britain and West Germany*, Gower, Aldershot, 1983.
SURESH N.C., MEREDITH J.R., *Justifying Multi-machine Systems: an Integrated Strategic Approach*, «Journal of Manufacturing Systems», 2, 1985.
SYLOS LABINI P., *Nuove tecnologie e disoccupazione*, Laterza, Bari, 1989.
TAMBURINI G. (a cura di), *Occupazione e tecnologie avanzate*, Il Mulino, Bologna, 1986.
THOMPSON H. E PARIS M., *The Changing Face of Manufacturing Technology*, «Journal of Business Strategy», 1, 1982.
TURCO F. (a cura di), *Lo stato della tecnologia nell'industria meccanica di fronte all'automazione flessibile*, Mediocredito Lombardo-Politecnico di Milano, Milano, 1985.
TURCO F., BARTEZZAGHI E., *Indagine sulla applicabilità delle tecniche di gestione della produzione «Just in Time» alle piccole e medie imprese manifatturiere*, Politecnico di Milano-MIP-Mediocredito Lombardo, Milano, 1989.
UCIMU-Sistemi per produrre e Politecnico di Milano, *Macchine per produrre macchine*, Edizioni del Sole-24 Ore, Milano, 1987.
VIVARELLI M., *Progresso tecnico e occupazione: un'incursione nella storia della teoria economica*, «Economia e politica industriale», 58, 1988.
WATANABE S., *Micro-electronics and Employment in the Japanese Automobile Industry*, World Employment Programme Working Paper, No 129, ILO, Geneva, 1984.
WHITLEY J.D., WILSON R.A., *Quantifying the Employment Effects of Micro-electronics*, «Futures», 6, 1982.

Finito di stampare nel giugno 1991
dalla Litografia L'IMMAGINE
con il coordinamento tecnico
del CENTRO STAMPA di Città di Castello (PG)
Coordinamento grafico CALAMO/R. Cervasio

Quaderni della Fondazione Adriano Olivetti

1. Bartezzaghi, Della Rocca, *Impresa, gruppi professionali e sindacato nella progettazione delle tecnologie informatiche.*
2. D'Alimonte, Reischauer, Thompson, Ysander, *Finanza pubblica e processo di bilancio nelle democrazie occidentali.*
3. Ciborra, *Organizzazione del lavoro e progettazione dei sistemi informativi.*
4. Giuntella, Zucconi, *Fabbrica, Comunità, Democrazia. Testimonianze su Adriano Olivetti e il Movimento Comunità.*
5. Della Rocca, *L'innovazione tecnologica e le relazioni industriali in Italia.*
6. Ciborra, *Gli accordi sulle nuove tecnologie. Casi e problemi di applicazione in Norvegia.*
7. Pisauro, *Programmazione e controllo della spesa pubblica nel Regno Unito.*
8. Perulli, *Modello high tech in USA.*
9. Centro Studi (a cura del), *Le relazioni industriali nella società dell'informazione.*
10. Martini, Osbat, *Per una memoria storica delle comunità locali.*
11. Schneider, *La partecipazione al cambiamento tecnologico.*
12. Bechelloni, *Guida ragionata alle riviste di informatica.*
13. Artoni, Bettinelli, *Povertà e Stato.*
14. Santamaita, *Educazione, Comunità, Sviluppo.*
15. Fabbri, Greco, *La comunità concreta: progetto e immagine.*
16. Fabbri, Pastore, *Architetture per il Terzo Millennio. Una seconda rivoluzione urbana?*
17. Schneider, Schneider, *Les fondations culturelles en Europe.*
18. Bechelloni, Buonanno, *Lavoro intellettuale e cultura informatica.*
19. Celsi, Falvo, *I mercati della notizia.*
20. Luciani, *La finanza americana fra euforia e crisi.*
21. il Campo, *La professione giornalistica in Italia.*
22. Sartoris, *Tempo dell'Architettura - Tempo dell'Arte.*
23. Bassanini, Ranci, *Non per profitto.*
24. Maglione, Michelsons, Rossi, *Economie locali tra grande e piccola impresa.*
25. Cuzzolaro, Frighi, *Reazioni umane alle catastrofi.*
26. D'Amicis, Fulvi, *Conversando con Gino Martinoli.*
27. Fabbri, Pastore, *Architetture per il Terzo Millenio. Ipotesi e tendenze.*
28. Cainarca, Colombo, Mariotti, *Nuove tecnologie ed occupazione.*